

**DEMATTIA-ESNEK ÇATLAMA TEST CİHAZININ
TASARIMI VE ELASTOMERLER TESTLERİNDE
KULLANILMASI**

**DEMATTIA-FLEX CRACKING TEST MACHINE DESIGN
AND ELASTOMER TESTS ON THE MACHINE**

ERGÜN ÜMİTCAN GÜVENİR

Prof. Dr. Murat ŞEN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2020

Eşime ve geniş aileme...

ÖZET

DEMATTİA-ESNEK ÇATLAMA TEST CİHAZININ TASARIMI VE ELASTOMERLER TESTLERİNDE KULLANILMASI

Ergün Ümitcan GÜVENİR

Yüksek Lisans, Polimer Bilimi ve Teknolojisi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat ŞEN

Haziran 2020, 112 sayfa

Bu tez kapsamında geliştirilen Demattia-Esnek Çatlama test cihazı elastomerlerin dinamik koşullarda çatlama karşı dayanımlarının test edilmesi amacıyla kullanılan ve ülkemizde henüz üretilmeyen ve tamamen ithal edilen bir cihazdır. Cihazın uluslararası standartlara uygun olması için ve standartlara uygun tasarım yapılabilmesi için çalışmanın ilk bölümünde gerekli standartlar incelenmiştir. Ayrıca, farklı marka muadil ürünler de incelenmiş, kullanıcı yorumları alınmıştır. Bu sayede tasarım aşaması için gerekli bilgiler derlenmiştir. Bunun yanında dinamik yorulmaya sebep olan nedenler literatürden taranarak teze eklenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde test cihazı için kavramsal tasarımlar hazırlanmış, bunların içerisinde detay tasarıma geçilecek kısımlar belirlenmiş ve detay tasarım aşamasında mekanik ve elektronik tasarım sonuçlandırılmıştır. Bu sonuçlara göre hazır ürünlerin seçimleri yapılmıştır. Bu çıktılarla beraber mekanik üretim dokümanları ve ürün listesi hazırlanmıştır. Hazırlanan cihaz için Aktaş Grup Hava Süspansiyon Sistemleri, Ltd. Şti. ve

Babacan Endüstri ve Kauçuk Ürünleri İmalatı San. Tic. Ltd. Şti'nden temin edilen numuneler geliştirilen test cihazı ile test edilmiştir. Belirlenen esnek çatlama test süreleri bu test numunelerini üreten firmaların test laboratuvarlarında elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Tüm örnekler için aynı sonuçlar elde edilmiştir. Ömür testleri başarıyla tamamlanmış, güvenilir, kullanıcı ihtiyaçlarına uygun ilk yerli ve milli bir esnek çatlama test sistemi geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Demattia, Esnek Çatlama, Kauçuk Ömür Testi

ABSTRACT

DEMATTIA-FLEX CRACKING TEST MACHINE DESIGN AND ELASTOMER TESTS ON THE MACHINE

Ergün Ümitcan GÜVENİR

Master of Science, Department of Polymer Science And Technology

Supervisor: Prof. Dr. Murat ŞEN

June 2020, 112 pages

Demattia-Flexible Cracking tester to be made is an imported device that is used to test the life of elastomers in dynamic conditions and is not yet produced in our country. Necessary standards have been examined in order for the device to comply with international standards and to design according to the standards. In addition, equivalent products were examined by making necessary visits and user comments were compiled. In this way, the necessary information for the design phase has been compiled. In addition, reason of the dynamic fatigue was added by review the literature resources.

Conceptual designs were prepared for the test device, the parts to be passed to the detailed design were determined and off the shelf products were selected according to the detailed design. Along with these outputs, mechanical production documents and product list were prepared. The specimens which were provided from Aktaş Grup Hava Suspension Systems, Ltd.Şti. ve Babacan Endustri ve Kaucuk Urunleri Imalat San. Tic. Ltd. Sti has been tested

with the developed test device. The results are shared. Life tests have been successfully completed; a reliable, user-friendly testing system has been developed.

Keywords: Demattia, Flex Cracking, Rubber Life Test

TEŞEKKÜR

Öncelikle gerek ders dönemi gerekse tez döneminde bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren, cesaretlendiren ve güvenini her zaman yanımda hissettiğim değerli hocam Prof. Dr. Murat ŞEN'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım ve laboratuvar çalışmalarım boyunca her türlü yardımını esirgemeyen değerli hocam Öğr. Gör. Davut AKSÜT'e teşekkür ederim.

Hayatımın her anında desteklerini benden esirgemeyen aileme, yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım boyunca eve geç gidişlerimi anlayışla karşılayan, bana her zaman destek olan yanımdan hiç ayrılmayan sevgili eşime sonsuz sevgi ve teşekkürler ediyorum.

Ayrıca tez çalışmaları boyunca numunelerin temin edilmesinde yapmış olduğu yardımlar için Aktaş Grup Hava Süspansiyon Sistemleri, Ltd. Şti.'ne ve Babacan Endüstri ve Kauçuk Ürünleri İmalatı San. Tic. Ltd. Şti adına Ece Şahin'e teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca, Hacettepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimine FHD-2019-16652 numaralı hızlı destek projesi ile yapmış olduğu maddi destek ile projeye katkıları için teşekkürlerimi sunarım.

Ergün Ümitcan Güvenir

Haziran 2020, Ankara

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kapsam ve Tarihsel Gelişim	1
1.2. Amaç	2
1.3. Yöntem	3
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Dinamik Yorulma	5
2.2. Demattia Esnek Çatlama Test Yöntemi	6
2.3. Doğal Kauçuk (NR).....	12
2.4. Kloropren (CR).....	13
2.5. Vulkanizasyon	15
2.6. Karbon Siyahı	17
2.7. Rulman Seçimi ve Rulman Ömür Hesabı	18
2.8. Redüktör ve Motor Seçimi	20
2.9. Mekanik Tasarım için İzlenecek Metotlar	21
2.9.1. Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA).....	21
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	26
3.1. Mekanik Tasarım.....	26
3.1.1. Kavramsal Tasarım.....	26
3.1.1.1. Kavramsal Tasarım I	26

3.1.1.2. Kavramsal Tasarım II	28
3.1.1.3. Kavramsal Tasarımların Karşılaştırılması	29
3.1.2. Detay Tasarım.....	30
3.1.2.1. Hareket Mekanizması	30
3.1.2.2. Numune Tutma Mekanizması	32
3.1.2.3. Destek Parçaları.....	32
3.2. Elektronik Tasarım	33
3.2.1.1. Motor Kontrol Bölümü.....	33
3.2.1.2. Kullanıcı Kontrol Bölümü.....	35
3.3. Hata Türleri ve Etkileri Analizi	35
3.4. Numunelerin Hazırlanması.....	40
3.4.1. Kauçuk Hamurlarının Hazırlanması	40
3.4.2. Kauçuk Reçetesi ve Standart'a Uygun Boyutlandırılması	41
3.5. Cihazın Test Edilmesi İçin Yapılan Çalışmalar	42
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	44
4.1. Mekanik Tasarım.....	44
4.1.1. Detay Tasarım.....	44
4.1.1.1. Hareket Mekanizması	44
4.1.1.2. Numune Tutma Mekanizması	52
4.1.1.3. Destek Parçaları.....	56
4.2. Elektronik Tasarım	59
4.2.1. Motor Kontrol Bölümü.....	59
4.2.2. Kullanıcı Kontrol Bölümü	60
4.3. Demattia Esnek Çatlama Test Cihazı Montajı	61
4.4. Hata Türleri ve Etkileri Analizi	65
4.5. Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi	68
5. TOPLU SONUÇLAR.....	76
6. KAYNAKÇA	78
EKLER	80
EK 1 – Rulman Katalog Bilgileri- FAG2204.....	80
EK 2 – Rulman Katalog Bilgileri-ORS62204.....	82
EK 3 – Motor Teknik Özellikler Tablosu.....	83

EK 4 – Bronz Burç	84
EK 5 – Kama Ölçüleri	85
EK 6 – OMRON J1000 Motor Sürücüsü	86
EK 7 – Ömür Uyarlama Faktörü	87
EK 8 – Tez Çalışması Orijinallik Raporu.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kalıp ölçüleri[2]	7
Şekil 2.2. Demattia esnek çatlama test cihazı[2]	8
Şekil 2.3. Doğal kauçuk yapısı	13
Şekil 2.4. Kloropren yapısı	14
Şekil 2.5. Kloropren'in izomerik formları	14
Şekil 2.6. Çapraz bağ yoğunluğu ile değişen fiziksel özellikler	15
Şekil 2.7. Karbon siyahı yapısı	17
Şekil 2.8. Ömür uyarılma faktörü	20
Şekil 3.1. Kavramsal tasarım I 3B model	27
Şekil 3.2. Kavramsal tasarım I 3B iç model	27
Şekil 3.3. Kavramsal tasarım II 3B model	28
Şekil 3.4. Kavramsal tasarım II 3B iç model	29
Şekil 3.5. Hareket mekanizması	31
Şekil 3.6. Numune tutma mekanizması	32
Şekil 3.7. Destek parçaları	33
Şekil 3.8. Devre şematiği	34
Şekil 3.9. BDK 3B simülasyonu	35
Şekil 4.1. Motor-redüktör ve taban plakası bağlantısı	45
Şekil 4.2. Eksantrik şaft	46
Şekil 4.3. Eksantrik şaft montajı	47
Şekil 4.4. Eksantrik şaft- bağlantı kolu montajı	47
Şekil 4.5. Bağlantı kolu	48
Şekil 4.6. Kol rulman kapağı	49
Şekil 4.7. Bağlantı kolu-hareketli çene ilişkisi-kesit	50
Şekil 4.8. Mil yuvası	51
Şekil 4.9. Mil yuvası-mil ilişkisi	52
Şekil 4.10. Hareket mekanizması	52
Şekil 4.11. Kısa tırtıl	53
Şekil 4.12. M10 sıkıştırma cıvatası	54
Şekil 4.13. Sıkıştırma mekanizması	54
Şekil 4.14. Hareketli çene	55

Şekil 4.15. Sabit çene	55
Şekil 4.16. Numune tutma mekanizması	56
Şekil 4.17. Sigma profil.....	56
Şekil 4.18. Taban plakası.....	57
Şekil 4.19. Giydirme sacı	57
Şekil 4.20. Kapak	58
Şekil 4.21. Redüktör yükseltici	58
Şekil 4.22. Omron-J1000 motor sürücüsü	60
Şekil 4.23. Kontrol paneli.....	61
Şekil 4.24. Sıkıştırma mekanizması montajı-sabit çene	62
Şekil 4.25. Hareketli çene montajı.....	62
Şekil 4.26. Bağlantı kolu rulman montajı.....	63
Şekil 4.27. Eksantrik şaft-bağlantı mili montajı	63
Şekil 4.28. Cihaz ön görünüş.....	64
Şekil 4.29. Cihaz izometrik görüş	65
Şekil 4.30. Test montajı.....	69
Şekil 4.31. ALDQ kod'lu test numuneleri (sol: test öncesi, sağ: test sonrası)	72
Şekil 4.32. ALDS numuneleri (sol test öncesi, sağ test sonrası)	73
Şekil 4.33. NR MT50 numuneleri (sol test öncesi, sağ test sonrası).....	75

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Çatlak değerlendirme rehberi[2]	11
Tablo 2.2. Tasarım HTEA için ortaya çıkma olasılığı derecelendirme tablosu	23
Tablo 2.3. Tasarım HTEA için şiddet derecelendirme tablosu	24
Tablo 2.4. Tasarım FMEA için keşfedilebilirlik derecelendirme tablosu	25
Tablo 3.1. Kavramsal tasarım karşılaştırma tablosu	29
Tablo 3.2. İster-ister kaynağı çizelgesi	36
Tablo 3.3. İster-Kavramsal tasarım karşılama çizelgesi	36
Tablo 3.4. Çözüm HTEA	38
Tablo 3.5. NR-MT60 Kauçuk reçetesi	41
Tablo 4.1. HTEA	65
Tablo 4.2. İyileştirme sonrası HTEA	68
Tablo 4.3. Numunesiz kontrol ölçümleri	70
Tablo 4.4. Aktaş Körük'den temin edilen ALDQ kodlu örneklerin test sonuçları	72
Tablo 4.5. Aktaş Körük 'den temin edilen ALDS kodlu örneklerin test sonuçları	73
Tablo 4.6. NR MT60 test sonuçları	74

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

L_{mn}	ISO 281: 2007'ye uygun olarak, genişletilmiş ve uyarlanmış, milyon devir ömür
a_1	Gerekli güvenilirlik değeri %90'dan fazla için, ömür uyarlama faktörü
a_{ISO}	Çalışma koşulları için, ömür uyarlama faktörü
k	Akma direnci oranı
e_c	Kirlenme, ömür uyarlama faktörü
$C(kN)$	Basit dinamik yük oranı
$C_u(kN)$	Yorulma sınırı faktörü
$P(kN)$	Bileşke dinamik rulman yükü
p	Ömür üssü kuvveti
v	Yağlayıcının kinematik akma direncinin çalışma sıcaklığındaki değeri
v_1	Yağlayıcının referans akma direncinin çalışma sıcaklığındaki değeri
$n(dk^{-1})$	Çalışma hızı
$T_{Hedef}(Nm)$	Yenilmesi gereken Tork değeri
$F_{etkiyen}(N)$	Eksantrik şaft üzerine etkiyen kuvvet
$x_{eksantrik}(m)$	Eksantrik kaçıklık
dB	Desibel
kg	Kilogram
dk	Dakika
V	Volt
mm	Milimetre
kW	Kilovat

Nm Newton metre

Kısaltmalar

ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilatı (International Organization for Standardization)
ASTM	Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu (American Society for Testing and Materials)
DIN	Alman Standartlar Enstitüsü (Deutsches Institut für Normung)
NR	Doğal Kauçuk (Natural Rubber)
CR	Kloropren Kauçuk (Chloroprene Rubber)
HTEA	Hata Türleri ve Etkileri Analizi
RÖG	Risk Öncelik Göstergesi
3B	Üç Boyutlu
BDK	Baskı Devre Kartı
CNC	Bilgisayar Sayımlı Yönetim (Computer Numerical Control)

1. GİRİŞ

1.1. Kapsam ve Tarihsel Gelişim

Kauçuklar, çok yüksek gerilimlerde düşük deformasyonları sayesinde birçok endüstriyel uygulamada tercih edilmektedir. Bunlara örnek vermek gerekirse, lastikler, titreşim sönümleyiciler, contalar, hortumlar ve kayışlar bu endüstrilere örnek olabilir. Bu uygulamalar büyük statik ve zamanla değişen gerilimlere sebep olduğu için mekanik bozulmaları ve dayanımları birincil önem arz etmektedir. Metaller için mekanik yorulma simülasyonu yazılımları olsa da henüz kauçuklar için böyle bir yazılım mevcut değildir. Mekanik ömür dayanımı yazılımları malzemelerin malzeme karakteristiği teorilerine dayalı olarak çalışmaktadırlar. Kauçuk gibi yüksek derecede deforme olabilen ve lineer olmayan malzemeler için kullanılmaları mümkün değildir. Bunun yerine her ne kadar maliyetli olsa da ömürlerinin test edilmesi gerekmektedir. [1]

Ömür test metotları içerisinde oldukça popüler olan De-Mattia Esnek Çatlama Test cihazı bir polimer türü olan elastomer malzemelerin dinamik ömür testi başka bir deyişle koşan malzemelerin ömür testi için sıklıkla kullanılan cihazlardır. Bu cihaz temel olarak numunelerin kullanım alanlarına bağlı olarak maruz kaldığı hareketi yüksek tur sayılarında tekrarlayarak yıpranmaya başladığı, yırtıldığı ve tamamen deforme olduğu tur sayılarının tespitinde kullanılarak ürünün veya numunenin dinamik yorulma ve dinamik ömür değerlerinin bulunmasında kullanılır. Test sonunda bulunan değerler kesinlik vermemekle birlikte karşılaştırmalı değerlendirme için uygun sonuçlar vermektedir. [2]

ISO 132, 6943, ASTM D 430-B ve DIN 53 522 1/2/3 ile test gereklilikleri uluslararası standart kuruluşları tarafından belirlenmiştir. De-Mattia yönteminin dışında dinamik yorulma testi için standartlarla kabul edilmiş iki yöntem daha bulunmaktadır. Bunlar: ASTM D 430 standardında verildiği üzere Metot A-Scott Esneklik Makinesi ve Metot C-E. I. DuPont de Nemours and Co. Esneklik Makinesidir. Metot A- Scott Esneklik makinesi katmanlı(kompozit) ürünlerde (kayışlar, lastikler gibi) katmanlar arasında kontrollü bükme hareketi yaparak ömür testi yapmaktadır. Bu test yöntemi özellikle kayışlar ve lastikler için kullanılan bir yöntemdir. Bu sebeple standartta kayışlar ve lastikler için örnek alma yöntemleri detaylı olarak anlatılmıştır. Testin geçerli olması için her numuneden en az 5 örnek test edilmesi gerekmektedir. Daha fazla örnekleme doğruluğu arttıracaktır.[2]

Standartlara bağılı kalarak dünyanın farklı ülkelerindeki firmalar tarafından De-Mattia Esnek Çatlama test cihazı üretmektedir. Bu cihazlar test standartlarına bağılı kaldıkları için kullanımları birbirine çok benzemektedir. Ancak testin yapılması için gerekli mekanizmalar, kullanılan malzemeler, kullanıcı arayüzleri ve iş güvenliği önlemleri birbirinden farklılıklar göstermektedir. Bu tez kapsamında, mevcut standartlara uygun muadillere göre gelişmiş bir Demattia-Esnek çatlama test cihazının tasarlanması prototipinin üretilmesi ve farklı kaynaklardan elde edilen elastomerlerle doğrulanmasına çalışılacaktır.

1.2. Amaç

Kauçuğun endüstriyel kullanımı, gündelik ürünleri (Sızdırmazlık elemanları, titreşim emici veya lastikler gibi performans ürünleri) yanı sıra mühendislik malzemelerini de içeren geniş bir uygulama alanı vardır. Bu uygulamaların birçoğu kauçuğun uzun süre boyunca döngüsel yüklerle maruz kalması ve yüzeyde yeni çatlaklar oluşmasına neden olur. Çatlaklar, yüzeydeki kusurlarda ve ayrıca doğal yaşlanma (ısı, ışık, ozon) sonrasında da başlayabilir. [3]

Malzemelerin yorulma davranışının incelenmesi kauçuk endüstrisinde büyük pratik öneme sahiptir. Nihai görev yorulma analizi, bileşenlerin ömrünü tahmin etmektir, bu nedenle malzemelerin yorulma ömrünün tahmini kritiktir. Bu çerçevede elastomerlerde yorulma tahmininin önemi için Mars ve Fatemi (2002), iki ana yaklaşım olduğunu bildirmiştir. Yorulma ömrü tahmini için: (i) çatlak çekirdeklenmesi ve (ii) çatlak büyümesinin takip edilmesi gereklidir. İlki çekirdeklenme ile ilgilidir ve belirli bir sınıra kadar çatlakların büyümesi ve bir süreklilik mekaniği yaklaşımına dayanır. İkincisi kırılma mekanik yaklaşımları kullanarak hizmet ömrünün sonuna kadar var olan çatlakların büyümesinin araştırılması üzerinedir[4].

Tez kapsamında dinamik yorulmaya etki eden faktörler literatürden araştırılmış ve bu etkiler içerisinde periyodik gerininim numune üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu araştırma yöntemi için uluslararası test metotları incelenmiştir. Elde edilebilecek numunelere en uygun test metodu seçilmiştir. Bu metot ISO 132, 6943, ASTM D 430-B ve DIN 53 522 1/2/3 standartlarıyla belirlenmiş DeMattia Esnek Çatlama Test Metodudur. Bu metoda uygun testlerin yapılabilmesin için standarda uygun Demattia cihazının mekanik ve elektronik tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarımlar üretilmiş, montajlanarak; prototip üretilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen bu cihazla kloropren ve doğal kauçuk bazlı kauçuklar test edilmiştir.

Tasarım aşamasında nihai üründe meydana gelebilecek problemler için HTEA metoduna göre önlemler alınması hedeflenmiştir. Bunun için öncelikle oluşabilecek problemlerin listelenmesi ve risk puanlaması yapılması hedeflenmiştir. Risk puanlamasına göre çeşitli önlemlerin alınması ve önlemlerin tasarıma yansıtılması hedeflenmiştir.

Böylece kullanım alanı günden güne genişleyen elastomer malzemelerin mekanik yorulma ömür testlerinde kullanılmak üzere özgün bir cihaz geliştirilmesi, geliştirilen cihaz ile farklı numunelerin test edilmesi hedeflenmiştir.

1.3. Yöntem

Yukarıda bu aşamaya kadar anlatılan bölümünde tez konusu ile ilgili ön bilgiler, standartlaşmış ömür testi için kullanılabilir diğer metotlar ve tezin yapılma gerekçeleri hakkında bilgi verilmiştir. Bu aşamadan sonra bu amaçlara erişmek için yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde kauçuk malzemenin dinamik ömür testlerinin yapılması için seçilen De-Mattia Esnek Çatlama Test cihazı hakkında bilgiler verilmiştir. Cihaz tasarımında belirleyici olan standardın getirdiği kriterler detaylı bilgiler, dinamik yorulma teorilerinin kapsamı ve sistemin tasarımı için gerekli olan motor-redüktör seçimi ve rulman seçimi ve test numunelerinde kullanılan malzemeler için gerekli bilgiler “GENEL BİLGİLER” başlığı altında anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde ise kullanılan alt parçaların seçiliş sebepleri alt sistem içindeki görevleri hakkında bilgiler verilmiştir. Mekanik ve elektronik alt sistemlerin tasarımları anlatılmıştır. Mekanik tasarımın 3 boyutlu çizim programından alınan görüntüleriyle yerleşim yerleri gösterilmiştir. Elektronik tasarımın aşamaları ve kullanan bileşenlerin alt sistem içindeki görevleri anlatılmıştır. Yapılan analitik hesaplamalar, numune hazırlama süreçleri ve deneysel çalışmalar bu bölümde diğer teknik bilgilerle beraber “DENEYSEL ÇALIŞMALAR” ana başlığı altında anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde ise alt sistemlerin (mekanik ve elektronik) üretim aşamalarından, işlevsel testlerinden, elde edilen test sonuçlarından, karşılaşılan sorunlardan yapılan iyileştirmelerden ve sistem montajı sonunda yapılan fonksiyon testlerinden söz edilmiştir. Montajı yapılan sistemle farklı kauçuk numuneleriyle yapılan test sonuçları karşılaştırılmıştır. Test sonuçlarından elde edilen bilgilerle hem test sistemi hem de kauçuk numuneleri üzerine çıkarılan sonuçlar “SONUÇLAR VE TARTIŞMA” bölümünde anlatılmıştır. Beşinci bölümde dördüncü bölümde paylaşılan sonuçlar ışığında yapılan

yorumlar paylaşılmıştır. Yapılması gereken iyileştirmeler ileride yapılması gereken çalışmalar gibi konular “TOPLU SONUÇLAR” bölümünde sunulmuştur.

Altıncı bölümde literatürden elde edilen bilgiler, makaleler, tezler, kitaplardan oluşan kaynak olarak kullanılan çalışmalar “KAYNAKLAR” başlığı altında paylaşılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Dinamik Yorulma

Dinamik yorulma, çalışan malzemeler için oldukça önemli bir kriterdir. Kauçuklar da bu konudaki dayanımları sayesinde otomotivden sağlık sektörüne, savunma sanayinden giyim sektörüne kadar birçok alanda tercih edilmektedir. Bu sebeple bu ürünlerin yorulma ömürlerinin test edilmesi önem kazanmıştır. Elastomer bir malzeme olan kauçukların dinamik yorulmaya uğrayıp uğramadıkları tartışma konusu olmuştur. Bu alanda çalışanların bir bölümü kauçuklar için dinamik yorulma ömrünün olmadığını savunurken, bir kesim ise kauçuklarda meydana gelen mekanik bozulmanın en önemli sebebinin dinamik yorulma olduğunu savunmaktadır.

Webster tanımına göre: "yorgunluk, bir malzemede, özellikle metallerde meydana gelen ve stresin tekrarlanmasından sonra bozulmaya ve iş görmemezliğe neden olan eylemdir". Dillon yorgunluğu ise Webster tanımında belirtildiği gibi hem fiziksel hem de kimyasal bir "eylem" olarak tanımlar. Dinamik yorulma, kullanım sırasında kauçuğun bozulmasına yol açan, ilk çatlakla beraber devam eden bir "eylem" ya da bozulma anlamında kullanılmaktadır[5].

İlk çatlakla başlayan ve devam eden "eylem" in aslında dinamik yorulma sırasında meydana gelen kauçuğun mekanik dayanımının azalması olduğu ortaya çıkmaktadır. Sonunda mekanik dayanımın azalması sebebiyle, en yüksek stres noktalarında bozulma ve çatlaklar oluşur ve kauçuk tamamen kopana kadar büyüyerek devam eder.

Çevre koşullarından etkilenmediği sürece, mekanik dayanımları periyodik gerilmenin üstünde olan kauçuklar için dinamik yorulma ömürleri teorik olarak sonsuz kabul edilebilir. Bunun sebebi kauçuk üzerinde oluşan streslerin hiçbir zaman ilk çatlağı oluşturamadığından, kopmaya sebep olacak şekilde büyüyen çatlaklar oluşmayacaktır[5].

Bununla birlikte üretilen kauçuk malzemelerin dinamik yorgunluğun görülmesine etki eden birçok etmen vardır, bunlar: malzemenin heterojen olması; gerinim döngüsündeki farklılıklar; nem, sıcaklık ve buna benzer etkilere bazı bozulmalar; kauçuk üzerine oluşmuş fiziksel hasarlar ve kauçuk reçete bileşenleridir.

Kauçuklar için heterojenlik, reçetede yer almayan maddelerin hamura karışması, hamurun her yerinin eşit şekilde vulkanize olmaması ve vulkanizasyonu esnasında daha önce hamura eşit dağılmış malzemelerin bir araya gelmesi olarak söylenebilir. Kauçuklarda görülen

heterojenlik malzemenin her yerinde mekanik özelliklerinin aynı olmamasına neden olmaktadır. Bu sebeple malzeme üzerinde farklı mekanik dayanıma sahip olan bölgelerde stres birikimi görülmektedir. Malzeme periyodik gerilmelere maruz kaldığında stres birikimi olan bölgelerde çatlaklar oluşmakta ve çatlakların büyümesiyle malzeme kopmakta ve dinamik yorulma görülmektedir.

2.2. Demattia Esnek Çatlama Test Yöntemi

Bu bölümde test standartlarında belirtilen koşullar açıklanmıştır. Test metodunun seçilmesiyle başlanmış ve numunelerin nasıl hazırlanacağı, teste nasıl başlanacağı ve sonuçların nasıl değerlendirileceği ASTM D430 standardında belirtildiği şekilde anlatılmıştır.

➤ Gerinim Tipi

Demattia Esnek Çatlama Test Cihazı (DEÇTC) kauçuk numunelerinin sündürme veya bükülme sonucunda çatlak oluşumuna karşı dayanıklılığını ölçmek amacıyla kullanılmaktadır. Sündürme ve bükme tiplerinin hangisiyle oluştuğu ise ayarlanabilir sabit ve hareketli çenelere ve hareketli çenelerin aldığı mesafeye bağlıdır. Hangi gerinim tipinin kullanılacağı tercihe bağlıdır ancak bu tercih, kullanılan çene tipine göre çenelerin ayarlanabilir pozisyonlarının ve aldığı mesafenin detayları verilerek yapılmalıdır.

Gerinim tipi seçilirken, çatlamanın kauçuğun yüzeyinde başlayıp her yeni ortaya çıkan yüzey ile iç kısımlara doğru hızla ilerlediği olgusu unutulmamalıdır. Kauçuk sıkıştırılmaz ancak yüksek oranda uzatılabilir olduğu için her iki gerinim tipinde oluşan yüzey dokusundaki çatlamlar germeden dolayı oluşuyor olmalıdır. Bunun yanında uzamanın büyüklüğü değişebilmekte ve gücün numunelerdeki iç dağılımı bu iki durumda aynı olmamaktadır. Sonuç olarak testin amacı ve test sonuçlarının nasıl bir işte kullanılacağına göre seçim yapılmalıdır.

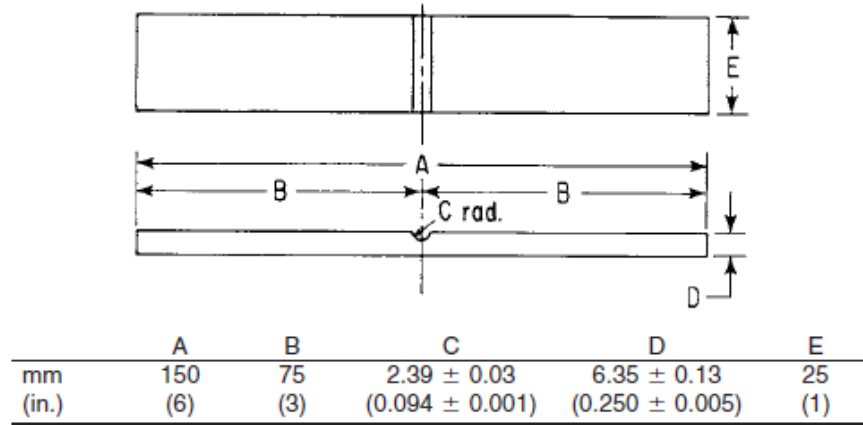
➤ Uzama Yorunum Çatlaması için Test Numuneleri

- Uzama gerinim tipi kullanıldığında standart test numunesi Test Metodları D412'nin Die C bölümünde tanımlandığı gibi dambel (papyon) şeklinde bir gerilim numunesine dönüşür.
- Numune kalınlığı uygulama D3767, A yöntemine göre belirlenmelidir. Sonuçlar, yalnızca aynı kalınlıktaki numuneler kullanılarak karşılaştırılmalıdır.
- Döküm numuneler, Test Metodları D412 A Metodunun 11.1 Bölümü dambel numunelerinde tanımlandığı şekilde hazırlanmalıdır.

- Bitmiş ürünlerden elde edilen numunelerde ve parlatma gerekli olduğunda, uygulama D3183'te tanımlanan prosedürler izlenmelidir.
- Numunedeki çatlama zamanından önce başlatabilecek herhangi bir yüzey bozukluğundan kaçınmak için özel dikkat gösterilmelidir. Yüzeyinden herhangi bir düzensizlik olan numuneler atılmalıdır.
- Test numuneleri test sıcaklığında en az 12 saat şartlandırılmalıdır

➤ **Karışım Esnemesi için Test Örnekleri**

- Gerinim tipi bükme olduğunda, Şekil 2.1'de gösterilen şekle sahip özel kalıplanmış örnekler kullanılacaktır.



Şekil 2.1. Kalıp ölçüleri[2]

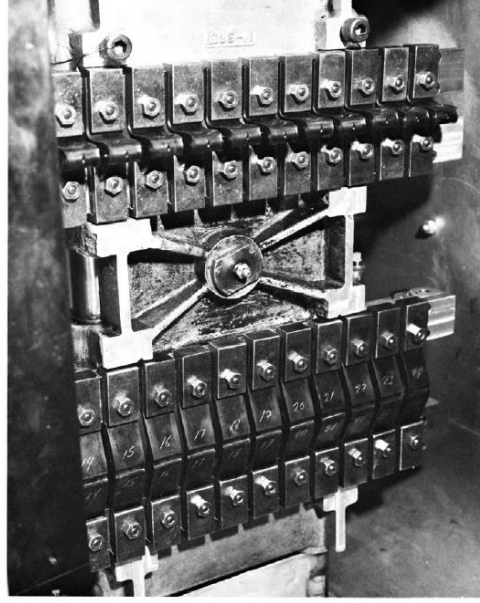
- Numuneler, Şekil 2.1'de verilen şekle ve boyutlara uygun kalıplarda pişirilmelidir. Düz cilalanmış yüzeye sahip olmalı, çentik alan ve çevresi düzensizliklerinden ve kusurlardan arındırılmış olmalıdır.
- Numune kalınlığı çentiğe en yakın yerlerden ölçülmelidir. Test sonuçları yalnızca $6,4 \pm 0,1\text{mm}$ ($0,250 \pm 0,005$ in.) kalınlığa sahip test numuneleri arasında karşılaştırılmalıdır, çünkü testin sonuçları test numunesinin kalınlığına bağlıdır.
- Test numuneleri test sıcaklığında en az 12 saat şartlandırılmalıdır.

➤ **Test Numunelerinin Sayısı**

- Her kalıplanmış plaktan en az üç numune test edilmeli ve sonuçların ortalaması alınmalıdır. Tercihen mümkün olduğunda, her bir numune setiyle aynı anda, esnek çatlama karşı direnci bilinen bir kontrol numune seti test edilmelidir.

➤ **Demattia Esneklik Makinesi**

- Örnek bir tasarımı Şekil 2.2’te gösterilen cihazın temel özellikleri aşağıdaki şekildedir:



Şekil 2.2. Demattia esnek çatlama test cihazı[2]

- Makine, test numunelerinin her birinin bir ucunu sabit bir pozisyonda tutmak için ayarlanabilir bir sabit çeneye ve numunelerin diğer uçlarını tutmak için de benzer bir hareketli çeneye sahiptir.
- Hareketli çene, bağlayıcı pabuçlar arasındaki merkez çizgisinin yönünde ve aynı düzlemde olacak şekilde monte edilir. Hareketli elemanların mesafeleri ayarlanabilir olmalı ve bu sayı bağlantı kolu ile eksantrik şaftın ortalaması alınarak elde edilmeli, minimum uzunluk oranı ise 10’a 1 olmalıdır.
- Eksantrik yük altında sabit hızda çalışan ve 5 Hz (300 ± 10 esneklik cpm) üreten bir motorla çalışmalıdır.
- Hazırlık ve yerleştirme, 100 mm’lik (4 in.) hareketli çenelerin maksimum mesafesine göre yapılmalıdır.
- Makinenin kapasitesi, aynı anda en az altı ve tercihen on iki numune üzerinde test yapılabilecek şekilde olmalıdır.
- Bağlantı pabuçları, numuneleri test boyunca sıkıca tutmalıdır ve hareketli elemanda bulunanlar numunelerin uygun şekilde ayarlanmasını kolaylaştırmak için her numuneyi ayrı ayrı kenetleyebilir olmalıdır.

➤ **DeMattia Esneme Makinesinde Numuneleri Sıkma**

- Numunenin bir ucu sabit çeneye, diğer ucu hareketli çeneye bağlantı pabuçlarıyla bağlanmalı ve numunenin uzun ekseninin hareket yönüne paralel olmasına dikkat edilmelidir.
- Numunelerin makineye en uygun yerleşimi, özel bir montaj rafında paralel pozisyonda uygun aralıklarla monte edilmesidir.
- Raf yan çubuklarının dış kenarları arasındaki mesafe, numuneleri gerilimsiz tutmak için konumlandırıldığında test makinesinin çeneleri arasındaki boşluğa eşit olmalıdır.
- Numune montaj rafı, çeneleri montaj rafıyla bir araya getirerek ve numunelerin çıkıntılı uçlarındaki bağlantı pabuçları sıkıştırarak test makinesine yerleştirilebilir.
- Bükme esnemesi için olan numunelerde kelepçeler arasındaki numunelerin serbest uzunluğu $76.2+0.3-0.0$ mm ($2.99+0.01-0.00$ in.) olmalıdır. Dairesel çentik, büküldüğünde dış yüzey haline gelecek şekilde kısıtlanmalıdır.

➤ **DeMattia Esneme Cihazının Ayarlanması**

- Uzama Yorulma Çatlaması:
Sabit ve hareketli çenelerin birbirlerine göre pozisyonları ve eksantrik kol ve bağlantı çubuğunun uzunlukları; hareketli çene sabit çeneye gerekenden 13 mm (0,5 in.) daha çok yaklaşacak şekilde ayarlanmalıdır ki numunedeki uzama gerilimi azaltılsın. Böylece çeneler maksimum uzaklıkla birbirlerinden ayrılarak numunenin gösterge işaretleri arasındaki kısmını önceden belirlenmiş ve kaydedilmiş miktarda uzatılmasını sağlar.
- Numunelerin gösterge işaretleri arasındaki uzama, nihai kırılma uzamasının dörtte birini geçmemelidir; yüksek oranda uzayabilen kauçuklar için maksimum %125'lik uzama uygundur.

➤ **Bükme Esnemesi:**

- Sabit ve hareketli çenelerin birbirlerine göre pozisyonları ve eksantrik kol ve bağlantı çubuğunun uzunlukları; makinenin her vuruşunda çenelerin birbirlerine $19,0 \pm 0,1$ mm ($0,750 \pm 0,005$ in.) mesafe ile yaklaşacak ve $75,9 + 0,3-0,00$ mm ($2,99 + 0,01 - 0,000$ in.) mesafe ile uzaklaşacak şekilde ayarlanmalıdır.

➤ **Yöntem**

- Cihazın ayarlanması ve numunelerin tamamlanmasından sonra makineyi çalıştırın ve süreyi kaydedin.

- Sık gözlemler yaparak, ilk çatlama belirtisi görülene kadar teste devam edin. Bu, çok ince saç teli şeklinde çatlaklar veya hafif iğne delikleri şeklinde olabilir. Bu noktada tekrar zamanı kaydedin.
- Bu süreden sonra test bitene kadar numuneleri çok yakından gözlemleyin ve “Sonuçların Yorumlanması” bölümünde açıklandığı gibi tüm numunelerde çatlama derecesinin ölçülebilecek derecede geliştiğindeki son zamanı kaydedin.
- Önlenebildiği zamanlarda, numunelerin tamamen yırtılana kadar testin devam etmesi istenmez. Dinamik yorulma özellikleri yaklaşık olarak bilinen numuneler test edilirken, önceden belirlenmiş sayıdaki döngü için testi yapın, sonrasında derecelendirme karşılaştırması yapın.

➤ **Sonuçların Yorumlanması**

- Test sonuçlandıktan sonra, numuneleri makineden çıkartın ve aynı tipte standart bir çatlak numuneler ölçeği ile karşılaştırarak bunları çatlamanın ciddiyetine göre sırayla değerlendirin.
- Uzunluğu, derinliği ve çatlak sayısını görsel olarak değerlendirerek karşılaştırma yapın.
- Standart karşılaştırma ölçeği, eşit şekilde derecelendirilmiş ve 0 (çatlama göstermez) ile 10 (tamamen kırılmış) arasında numaralandırılmış on bir örnekten oluşacaktır.
- Örneklerin değerlendirilmesi için bir rehber Tablo 2.1’de verilmiştir. Geliştirilmiş hassasiyet, 0,5 mm (0,020 in.) artırımlı ve düşük güçlü bir büyüteçli ölçekle gözlemler yapılarak elde edilebilir.

Tablo 2.1. Çatlak değerlendirme rehberi[2]

Derece 0	Çatlak gözlenmedi.
Derece 1	Bu aşamadaki çatlaklar çıplak gözle iğne ucu gibi gözüktür. İğne ucu çatlakların sayısı 10'dan azsa ve uzunluğu 0,5 mm'den azsa 1 olarak notlandırılır.
Derece 2	Aşağıdakilerden biri geçerliyse derece 2 olarak değerlendirin: (1) İğne ucu sayısı 10'dan fazla veya (2) Çatlak sayısı 10'dan az, ancak bir veya daha fazla iğne ucu aşamasının ötesinde daha fazla çatlak geliştiği, yani fazla derinliği olmayan algılanabilir uzunlukları olan, ancak uzunlukları hala 0,5 mm'den az olan numuneler için.
Derece 3	Bir veya daha fazla iğne deliği varsa Derece 3 olarak değerlendirin uzunluğu daha büyük olan belirgin çatlaklar haline gelmiş (0,5 mm - 1,0 mm arasında)
Derece 4	En büyük çatlak boyu 1mm ile 1,5 mm arasında olan numuneler
Derece 5	En büyük çatlak boyu 1,5mm ile 3 mm arasında olan numuneler
Derece 6	En büyük çatlak boyu 3 mm ile 5 mm arasında olan numuneler
Derece 7	En büyük çatlak boyu 5 mm ile 8 mm arasında olan numuneler
Derece 8	En büyük çatlak boyu 8 mm ile 12 mm arasında olan numuneler
Derece 9	En büyük çatlak boyu 12 mm ile 15 mm arasında olan numuneler
Derece 10	En büyük çatlak boyu 15mm'den büyük olan numunelerdir. Bu durum numunenin başarısız olduğunu gösterir.

- Nihai sonucu, tüm numunelerden elde edilen sayıların ortalaması olarak kaydedin.
 - İlk çatlama işareti ve nihai sonuç için gerekli olan döngü sayısını dakika cinsinden ifade edilen 5Hz (300 cpm) hızıyla çarparak hesaplanır.
 - Test sonuçlarını sadece aynı şartlar altında aynı şekilde test edilen benzer konfigürasyon numuneleri arasında karşılaştırılır.
- **Test sonuçları şu şekilde ifade edilebilir:**
- Çeşitli numunelerin belirli sayıda esneme döngüsünde ağırlıklı olarak karşılaştırılması,
 - Kesin bir ağırlık derecesine ulaşmak için gereken esneme döngüsü sayısı veya

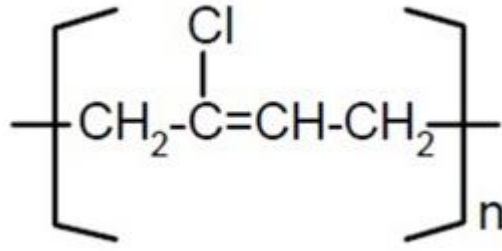
- Aşamalı bir ağırlık derecesine ulaşmak için gerekli döngü sayısının karşılaştırılması

Son maddede, birkaç ağırlık derecesi gözlemlendiğinde, veriler; esneme döngüsü sayısını bin devir veya bin devir katlarıyla ile belirtilerek, istenildiği şekilde sayısal veya grafiksel olarak karşılaştırılabilir.

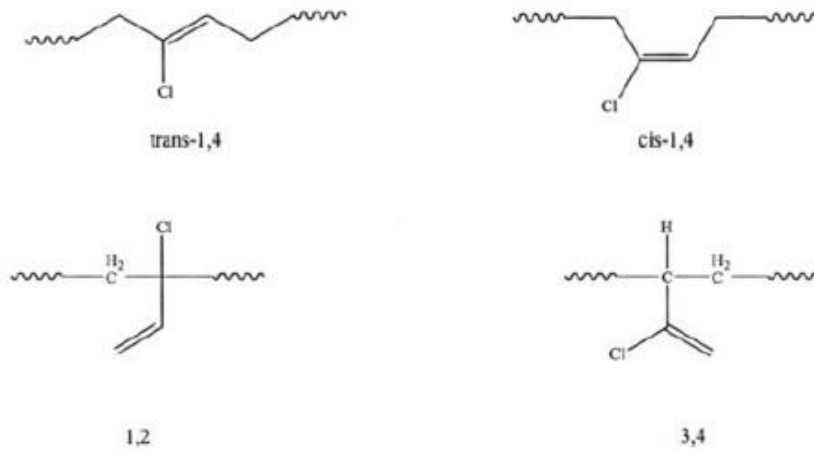
2.3. Doğal Kauçuk (NR)

Eski Dünya kauçuğu coğrafi keşiflerle tanımıştır. Yalnız 19. Yüzyılın ortalarına kadar endüstride kullanımı çok kısıtlı olan kauçuk bu yıllardan itibaren yıldan yıla kullanım alanlarını arttırmıştır. Kauçuk ilk zamanlarda iklimden kaynaklı olarak Endonezya, Malezya, Sri Lanka, Güney Amerika ve Hindistan gibi ülkelerin kendilerine özgü ağaçların kabuklarının soyularak belli işlemlerden geçirilmesinden elde edilen bir üründür. 19. yy'in ortalarından itibaren Charles Macintosh, Thomas Hancock ve Charles Goodyear'ın önünü çektiği araştırmacılar sayesinde günlük yaşamda tercih edilen bir ürüne dönüşmüştür. Macintosh 1823 yılında su geçirmez bir kauçuk kazandırmıştır. Bugünkü kauçuğa uygulanan karıştırma işleminin öncüsü olarak sayılan mastikasyon makinası Hancock tarafından bulunmuştur. Bu zamanlardaki en büyük gelişim ise Goodyear'ın ortadan kaldırdığı kauçuğun soğukta sertleşerek elastik özelliğini kaybetmesi ve sıcakta yumuşayarak yapışkan bir form alması olumsuz özelliğidir. Goodyear bu iyileştirmeyi 1840 yılında vulkanizasyon işlemini tanıtmalarıyla gerçekleştirmiştir. Bu yenikle birlikte kauçuğun endüstride ve günlük kullanımdaki payı artmıştır[7].

Hevea Brasiliensis ağacının lateksinden elde edilen poliizopren, kauçuk olarak bilinen ilk maddedir. Kükürt ve peroksitlerle yüksek sıcaklarda tepkimeye girerek çapraz bağlar oluşturur, bu şekliyle elastomere dönüşür. Bu malzeme günümüzde doğal kauçuk (NR) olarak isimlendirilmektedir[8,9]. Doğal kauçuğun ampirik formülü 1826 yılında Michael Faraday tarafından C_5H_8 olarak açıklanmıştır. Molekül yapısı %99 cis-1,4-poliizoprendir. NR yapısı Şekil 2.3' de verilmiştir [10,11].



Şekil 2.4. Kloropren yapısı



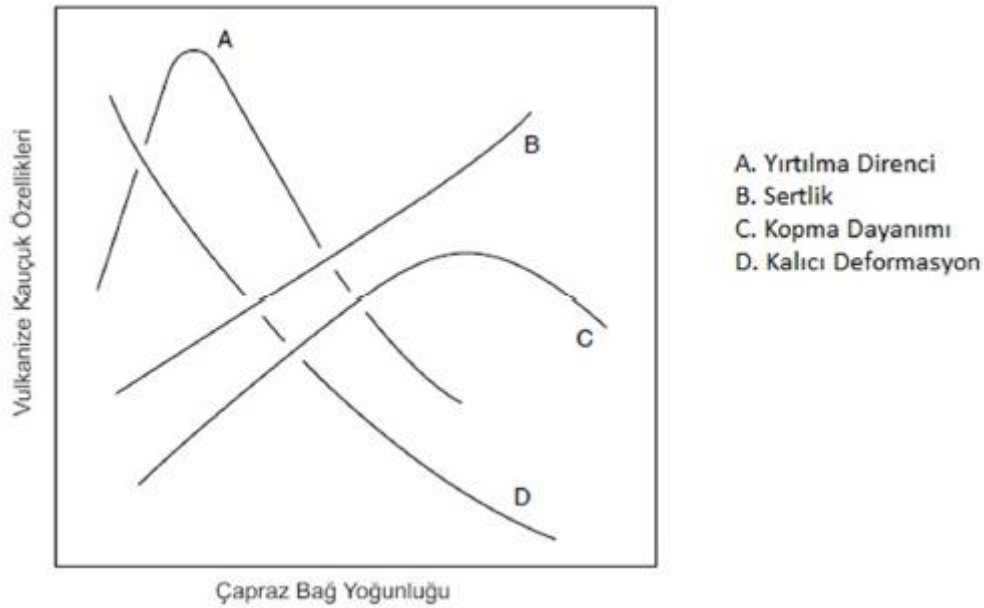
Şekil 2.5. Kloropren'in izomerik formları

CR, genellikle % 88-92 trans yapıdadır ve gerilme ile kristallenir. Bu nedenle çok iyi kopma dayanımına sahiptir[12,17]. CR içerisine karbon siyahı ve diğer katkı maddeleri katılarak yırtılma ve aşınma dayanımı artırılır. CR'nin hava ve ozona karşı dayanıklılığı yüksektir. Yanmaya ve birçok yağa karşı yüksek dirence sahiptir[15]. CR vulkanizasyonu kükürt dışında çinko oksit (ZnO) ve magnezyum oksit (MgO) ile de yapılabilir. Metal oksidin görevi, vulkanizasyon sırasında ortaya çıkan hidrojen klorürü nötralize etmektir [21]. CR'nin Tg değeri -42 °C'dir [18]. Nispeten yüksek Tg değerine sahip olduğu için düşük sıcaklıklarda uygulama alanı sınırlıdır ve maliyetinin de yüksek olması CR'nin kullanımını kısıtlamaktadır[15]. CR'nin yeniden kullanımı zor olduğu için atık CR'nin çoğu depolanır ve bu polimer işlenmez veya geri dönüştürülmezse ciddi çevresel problemlere neden olabilir[19,20].

Günümüzde CR; hortum imalatı, conta, motor takozları, silecek lastikleri, membranlar ve V-kayışı imalatı gibi pek çok alanda kullanılmaktadır [15,21].

2.5. Vulkanizasyon

Kauçuğun uygun çapraz bağlayıcılar kullanılarak daha mukavim malzemelere dönüştürmek için uygulanan çapraz bağlama işlemine vulkanizasyon denir. [22]. Vulkanizasyon, kauçuk bileşiklerinin formülasyonun karışıklığı, her reaksiyonun mekanizmasının tam olarak çözülmemesi ve kimyasal yapıları birbirine benzer türlerin bulunması sebebiyle tam anlamıyla anlaşılabilmiş değildir[23]. Vulkanizasyon süresince çapraz bağlanma özelliği bağlanmayı sağlayan maddenin miktarına aktivitesine ve reaksiyonuna bağlıdır. Bu özellik çapraz bağlanma yoğunluğu ve vulkanizasyon derecesi olarak ifade edilir[24]. Çapraz bağlanma yoğunluğu ve bağ türü elastomerik malzemelerin önemli özelliklerindedir. Sertlik, modülüs, kopmadaki uzama, esneklik, kopma dayanımı ve şişme derecesi gibi özellikler çapraz bağ yoğunluğu ile doğrudan ilişkilidir[25,26]. Çapraz bağ yoğunluğuna bağlı olarak, vulkanize olmuş bir kauçuğun fiziksel özelliklerindeki değişim Şekil 2.7'da gösterilmiştir [10].



Şekil 2.6. Çapraz bağ yoğunluğu ile değişen fiziksel özellikler

Vulkanizasyon, kullanılan kimyasallara ya da proseslere göre isimlendirilir [22].

- Kükürt vulkanizasyonu
- Peroksit vulkanizasyonu

- Silan vulkanizasyonu
- Metal oksit vulkanizasyonu
- Reçine (resin) vulkanizasyonu
- Radyasyon ile vulkanizasyon

Kauçuklar genellikle kükürt veya peroksit kullanarak çapraz bağlanır. Bunlardan kükürt vulkanizasyonu en eski ve en yaygın olarak kullanılan yöntemdir [23,27].

Vulkanizasyon birçok unsuru barındıran pek çok kimyasal katkı ile daha verimli hale getirilebilir bir süreçtir. Farklı kimyasal katkıların süreçte farklı görevleri vardır. Bu görevlere göre kauçuk kimyasalları şu şekilde sınıflandırılabilir : Pişiriciler, Dolgu maddeleri, Hızlandırıcılar, Aktivatörler, Geciktiriciler, Yapıştırıcılar, Koruyucular ve diğer kimyasal katkılardır

Kauçuk hamuruna çok küçük taneli güçlendirici ya da dolgu maddeleri olarak anılan maddeler vardır. Bu maddeler aracılığıyla kauçuğa mukavemet, işlenebilirlik gibi özellikler kazandırılır. Bu malzemeler karışımın maliyetinin düşürülmesi ya da renklendirilmesi amacıyla da kullanılmaktadır[7]. Bu dolgu malzemelerinin en yaygın kullanımı karbon siyahıdır.

Çapraz bağlanma sürecinin kısaltılmasındaki görevi karışıma eklenen hızlandırıcılar üstlenir[28]. Vulkanizasyon sürecinin ticari hayatta kullanılabilmesi için normal süreçte oldukça süren işlemin hızlandırılması gerekmiştir. Bunun yanında hızlandırıcılar kauçuğun mekanik özellikleri üzerinde de olumlu etkileri vardır.

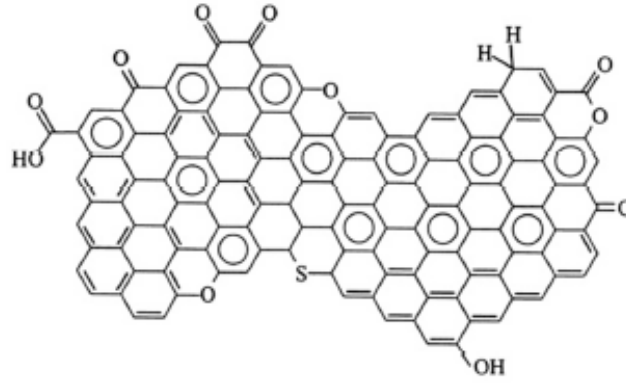
Pişme işlemi esnasında hızlandırıcılara yardımcı olan maddeler aktivatör olarak adlandırılmaktadır. Sadece pişiricilerle yapılan vulkanizasyon işlemi oldukça uzun sürmektedir. Bu süreci kısaltmak için hızlandırıcılarla beraber aktivatörler de kullanılır.

Geciktiriciler ise vulkanizasyon hızını kontrol etmek için kullanılan önemli bir aktördür. Ön vulkanizasyon sonucu oluşan ve kauçuğun vulkanizasyona kullanışsız olarak girmesini engellemektedirler. Bu olumsuzluğu kauçuğun hızlı pişerek yanmasını engelleyerek yaparlar.

Yapıştırıcılar, kimyasal katkıların birbiriyle iyi bir şekilde tutunmasını sağlarlar. Örneğin; reçine. Diğer kimyasal katkıları ise boya, koku, koruyucular (korozyon koruyucu), yağ vb. şeklinde sıralanabilir.

2.6. Karbon Siyahı

Karbon siyahları, kauçuk sanayisinde kullanılan temel dolgu maddeleridir. Karbon siyahları üretim şekillerine göre isimlendirilmiştir: F, fırın siyahları; C, kanal siyahları ve T, termal siyahları olarak sınıflandırılır. Tanecik boyutu ve yüzey alanı karbon siyahlarının en önemli özellikleridir. Yüzey alanının artması ya da tanecik boyutunun azalması modülüs, sertlik ve viskoziteyi artırır. Karbon siyahlarının yapısı Şekil 2.7’de verilmiştir[29].



Şekil 2.7. Karbon siyahı yapısı

Karbon siyahlarının isimlendirilmesi ASTM D- 1765 standardına göre yapılmaktadır. Standart isimlendirmede 4 harf kullanılır. İlk hanede bulunan S, N ve F harfleri karbon siyahının vulkanizasyon işlemine etkisini ifade etmektedir. Vulkanizasyon hızını yavaşlatan asidik karbon siyahları için “S”; vulkanizasyonu hızına etkisi olmayan bazik siyahlar için “N”; vulkanizasyonu hızını arttıran karbon siyahları için “F” harfi kullanılmaktadır. Yüzey alanını belirtmek için ikinci hane kullanılmaktadır. Rakam büyüdükçe yüzey alanı küçülmektedir [30]. Üçüncü hane ise karbon siyahının yapısını göstermektedir. Dördüncü hane ise aynı gruptaki karbon siyahının ikinci bir özelliği olması durumunda bu özelliği belirtmede kullanılmaktadır[22].

2.7. Rulman Seçimi ve Rulman Ömür Hesabı

Mekanik tasarım için önemli alt bileşenlerden biri de rulman seçimi ve rulman ömrünün hesaplanmasıdır. Rulman seçimi yapılırken aşağıdaki kelimeler göz önüne alınır:

- Radyal yük büyüklüğü
- Eksenel yük büyüklüğü
- Devir sayısı
- Çalışma süre ve sürekliliği
- Beklenen ömür
- Şaft-yatak yerleşim dizaynı
- Rulmanın yerleştirilebileceği hacim büyüklüğü
- Yağlama metodu
- Sızdırmazlık elemanlarının dizaynı
- Çalışma sıcaklığı
- Kabul edilebilir ses düzeyi
- Kabul edilebilir vibrasyon miktarı
- Kabul edilebilir boşluklu çalışma ölçüsü
- Kabul edilebilir eksenel oynama miktarı

Bu bölümde rulman ömür hesabının nasıl yapılacağı anlatılmıştır:

$$L_{mn} = a_1 * a_{ISO} \left(k, e_c, \frac{C_u}{P} \right) \quad (2.1)$$

Burada

L_{mn} : ISO 281: 2007'ye uygun olarak, genişletilmiş ve uyarlanmış, milyon devir ömür,

a_1 : Gerekli güvenilirlik değeri %90'dan fazla için, ömür uyarlama faktörü

a_{ISO} : Çalışma koşulları için, ömür uyarlama faktörü

k : akma direnci oranı

e_c : kirlenme, ömür uyarlama faktörü(EK 7 kullanılarak seçilmiştir.)

$C(kN)$: Basit dinamik yük oranı, (ürün kataloğundan alınır)

$C_u(kN)$: Yorulma sınırı faktörü, (ürün kataloğundan alınır)

$P(kN)$: Bileşke dinamik rulman yükü

p: Ömür üssü kuvveti

Güvenirlilik değeri %90 olduğu zaman a_1 değeri 1 olarak alınır.

a_{ISO} değeri $\frac{e_c * C_u}{P}$ değeri ve k değerlerinin tablo ve hesaplama kaynaklı değerleri ile hesaplanır.

$$k = \frac{v}{v_1} \quad (2.2)$$

Burada

v: yağlayıcının kinematik akma direncinin çalışma sıcaklığındaki değeri

v_1 : yağlayıcının referans akma direncinin çalışma sıcaklığındaki değeri

v_1 değeri ise devir/dk değeri 1000dk^{-1} olan değerler için aşağıdaki formül ile bulunur.

$$v_1 = 45000 * n^{-0,83} * d_M^{-0,5} \quad (2.3)$$

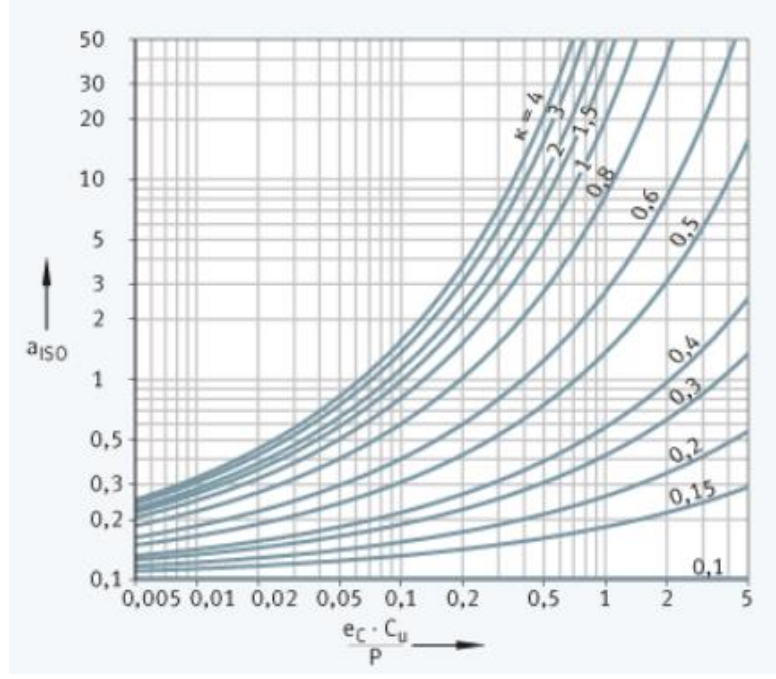
Burada

$n(\text{dk}^{-1})$: Çalışma hızı

d_M : (rulman iç çapı+rulman dış çapı)/2

e_c değeri ise EK-7 tablosu kullanılacak ortamın kirliliğe katkısına göre belirlenir.

Ürün kataloğundan alınan $\frac{e_c * C_u}{P}$ ve k değerleri ile Şekil 2.8'da verilen grafik yardımıyla a_{ISO} değeri bulunur.



Şekil 2.8. Ömür uyarlama faktörü

2.8. Redüktör ve Motor Seçimi

Bu bölümde “Detay Tasarım” bölümden sonuçları verilen motor ve redüktör için seçim kriterleri verilmiştir.

Öncelikle motor-redüktör üzerine etki eden torkun hesaplanması gereklidir.

$$T_{Hedef} = F_{etkiyen} * x_{eksantrik} \quad (2.4)$$

Burada T_{Hedef} (Nm): Yenilmesi gereken Tork değeri

$F_{etkiyen}$ (N): Eksantrik şaft üzerine etkiyen kuvvet

$x_{eksantrik}$ (m): Eksantrik kaçıklık

Motor-redüktör çıkışının burada hesaplanan tork değerini yendiği zaman hareket başlayacaktır. Bu ilişki aşağıdaki formülde anlatılmıştır.

$$T_{Hedef} = Motor\ Torku * Redüktör\ Tahvil\ Oranı * Redüktör\ Verimi \quad (2.5)$$

$$Motor\ torku(Nm) = 9.5488 * \frac{Motor\ Gücü(W)}{Motor\ çevrim\ hızı(dk^{-1})} \quad (2.6)$$

Motor-redüktör ikisinin kaldırması gereken yük hesaplandıktan sonra yukarıda verilen formül ile motor ve Redüktör ikilisi seçilebilir.

2.9. Mekanik Tasarım için İzlenecek Metotlar

2.9.1. Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA)

HTEA, müşteriye gitmeden önce sistemden, tasarımdan, süreçten ve/veya servisten kaynaklanan bilinen ve/veya potansiyel hataların, problemlerin, yanlışların vb. tanımlanması, belirlenmesi ve giderilmesine yarayan bir mühendislik tekniğidir[31,32].

HTEA, ele alınan sürecin kritik isterlerinin karşılanamayacak durumların tanımlanması amacıyla kullanılan önemli bir metottur. Bu karşılanamayacak durumların risk nedenlerini ve sistem tamamlandığında bu hataların tespit yöntemlerini değerlendirmek ve süreci iyileştirmek için kullanılır.

HTEA'nın amacı, ortaya çıkarılacak sistemin kalitesini, güvenilirliğini emniyetini arttırmaktır. Bunun yanında sistem geliştirme süresini ve maliyetini önceliklerin daha kolay belirlenmesini sağlayarak azaltır. Sistemin tamamlanması sonucunda ortaya çıkabilecek hataların neler olabileceği ve bu hataların nasıl giderileceği üzerine plan çıkarılmasını sağlar. Sistem isterleri için üretilen konseptlerin seçimleri için tasarımcıya yardımcı olmaktadır.

HTEA türleri:

- Sistem HTEA: sistem ve bileşenlerinin tasarım aşamalarında analizi için kullanılır. Tasarımdan kaynaklanan sistemin fonksiyonları ile ilgili potansiyel hata türleri üzerine odaklanır.
- Tasarım HTEA: üretimine geçilmeden önce ürünlerin analizinde kullanılır.
- Süreç HTEA: imalat ve montaj süreçlerinin analizinde kullanılır.
- Servis HTEA: Servisin müşteriye ulaşmadan analiz edilmesi için kullanılır. Servis HTEA, sistem veya süreç eksikliklerinin sebep olduğu hata türleri üzerine odaklanır.

Hataların önceliklerini belirlemek için üç kavram bulunmaktadır: meydana gelme olasılığı, şiddet, keşfedilebilirlik.

Hata sebeplerinin tanımlanması için öncelikle hatanın ortaya çıkaracağı birincil sorun bulunmadır. Bu birincil sebep bulunduğundan sonra hatanın ana kaynağının bulunması gerekir. Örnek vermek gerekirse parça üzerindeki çatlaklar birincil sebepken buna asıl sebep olan

titreşim veya yanlış malzeme seçimi ana sebeptir. Ana sebeplerin bulunabilmesi için sebep-sonuç diyagramı veya 4M metodu gibi metotlar kullanılmalıdır.

Hata etkisi, hata türü önlenmediğinde veya düzeltilmediğinde, hatanın son ürün halindeki etkisi/ sonucunun belirlenmesi aşamasıdır. Kullanıcının neyi fark edebileceği veya müşterinin başına ne gelebileceğinin tanımlanmasıdır. Kullanıcı, izleyen operasyon veya son kullanıcı olabilir. İlgili hata meydana geldiğinde performans üzerine etkisi, görünüş, ses gibi özellikleri üzerindeki değişiklikler veya ürünün beklenen işlevi yerine getirememesi, ilgili yasal düzenlemeler karşısındaki durumu, müşteride güvenlik/ emniyet açısından yaratacağı tehlikeler hatanın etkisi belirlenirken göz önüne alınmalıdır. Etki belirlenirken, benzer özellik taşıyan ürünlerin sonuçları ve geçmişteki hata türleri dikkate alınmalıdır. Bu etkiler için örnek vermek gerekirse, bunlar kullanıcı sağlığına etki edebilecek hatalar, cihazı kullanılamaz hale getirecek hatalar ya da cihazın ömrünü kısaltan hatalar olarak örneklenebilir.

Kontrol edilebilirlik ise olası bir hatanın tespit edilebilme durumunu anlatan bir durumdur. Örnek olarak ölçüsel hatalar için bir kontrol mekanizması yoksa bu kontrol edilebilirliği düşük bir durumdur ve sistem için kritik önem oluşturabilir.

Risk Öncelik Göstergesi (RÖG), hataların ortaya çıkma olasılığı, şiddet ve keşfedilebilirliğe göre Risk Öncelik Göstergesi (RÖG) belirlendikten sonra, riske bağlı olarak hataların değerlendirilmesi yapılır. Risk genellikle küçük, orta, yüksek ve kritik olarak tanımlanır. RÖG potansiyel hata türleri, onların etkileri ve hatanın müşteriye ulaşmasından önce sürecin hatayı yakalayabilme yeteneğine bağlı olarak hesaplanan bir sayıdır. Her biri etkiler, sebepler ve kontroller ile ilişkili olan üç sayısal değer çarpımı şeklinde hesaplanır:

$$RÖN = \text{Şiddet} \times \text{Ortaya Çıkma} \times \text{Keşfedilebilirlik}$$

Risk; eğer risk küçük ise, herhangi bir faaliyet yapmaya gerek yoktur,

- Eğer risk orta ise, bazı faaliyetler planlanabilir, eğer risk yüksek ise, gerekli faaliyetlerin planlanması yapılır (doğrulama ve değerlendirme gerekebilir), eğer risk kritik ise, gerekli faaliyetler planlanır ve sistem, tasarım, ürün, süreç ve/veya serviste gerekli değişiklikler yapılır. Eğer aynı RÖG'ne sahip iki hata türü var ise, ilk olarak daha yüksek şiddete ve daha sonra da en yüksek keşfedilebilirliğe sahip olan hata türü ele alınmalıdır. Şiddet ilk önceliklidir çünkü hatanın etkisi ile ilgilidir. Keşfedilebilirlik de müşteri ile ilgili olduğu için hatanın meydana çıkması olasılığından daha önce gelir.

Meydana gelme olasılığı, hatanın frekansıdır. Şiddet, hatanın etki derecesidir. Keşfedilebilirlik ise, hatanın müşteriye gitmeden önce yakalanabilme kabiliyetidir. Belirtilen üç kavramın derecelerinin belirlenebilmesi için çeşitli yollar mevcuttur. Genelde Risk Kriterleri Tablosu olarak adlandırılan sayısal derecelendirme kullanılır. Derecelendirmede herhangi bir kriter olmamasına karşılık genellikle 1-5 veya 1-10 kriteri kullanılır. Olasılık derecelendirmesi Tablo 2.2’de, şiddet derecelendirmesi Tablo 2.3’te, keşfedilebilirlik derecelendirmesi Tablo 2.4’te verilmiştir. Tablolardaki derecelendirme kriterleri kullanılarak yapılacak tasarım için hata türleri ve etkileri analizi yapılabilir. Bu sayede tasarım konsept aşamasındayken ileride ortaya çıkabilecek problemler değerlendirilerek, olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik düzeyine göre oluşturulacak tablo ile gerekli olanlar için önlemler alınabilir. Analiz uygulanırken oluşabilecek bütün hatalar bulunarak, sorunlara çözüm üretilmeye çalışılır.

Tablo 2.2. Tasarım HTEA için ortaya çıkma olasılığı derecelendirme tablosu

Olasılık Derecelendirmesi	Derecelendirme
Çok Uzak Olasılıkta Arızanın olacağını kabullenmek mantıklı değil	1
Düşük Olasılıkta Satılan ürünlerdeki benzer tasarımlarda çok az arızalarla karşılaşıldı	2,3
Orta Olasılıkta Benzer tasarımlar seyrek arızalara neden oldu, fakat çok ciddi değillerdi	4,5,6
Yüksek Olasılıkta Geçmişte benzer tasarımlardaki yanlışlıklar problem yarattı	7,8
Çok Yüksek Olasılıkta Ciddi arızaların ortaya çıkması hemen hemen mümkün	9,10

Tablo 2.3. Tasarım HTEA için şiddet derecelendirme tablosu

Etki	Şiddet Derecesi	Kıstas
Etkisi Yok	1	Etkisi yok
Çok Önemsiz Etki	2	Ürün performansı üzerine çok önemsiz etkisi vardır. Bazen önemsiz kusurlar gözlenmektedir.
Önemsiz Etki	3	Ürün performansı üzerine önemsiz etkisi vardır. Müşteri birazcık rahatsız olmaktadır. Pek çok zaman süresince önemsiz kusurlar gözlenmektedir
Küçük Etki	4	Ürün performansı üzerine küçük etkisi vardır. Kusurun onarılması gerekmemektedir. Müşteri sistem performansı üzerinde küçük etkilerin farkına varabilir. Yaşamsal olmayan kusurlar sürekli gözlenmektedir
Orta Şiddette Etki	5	Ürün performansı üzerine orta şiddette etkisi vardır. Müşteri ürün kullanımında tatminsizlikler yaşamaktadır. Yaşamsal olmayan parçadaki hatalar onarım gerektirir.
Önemli Etki	6	Ürün performansı düşmüştür, ürün çalışmaktadır ve emniyetlidir. Müşteri kullanımı esnasında rahatsızdır. Yaşamsal olmayan parça çalışmıyordur.
Büyük Etki	7	Ürün performansı ciddi olarak etkilenmiştir, fakat kullanılabilir ve emniyetlidir. Müşteri tatmin olmamaktadır. Üründe bir alt sistem çalışmıyordur.
Çok Büyük Etki	8	Ürün kullanılamamaktadır, fakat emniyetlidir. Müşteri tatminsizliği çok fazladır. Sistem çalışmıyordur.
Ciddi Etki	9	Olasılıkla tehlikeli etki söz konusudur. Bir kaza olmaksızın ürünün kullanılmasını durdurur-kısmi arıza. Tehlike durumunda yasalarla uyumlu
Tehlikeli Etki	10	Tehlikeli etki. Emniyetle ilgili ani arıza. Yasalarla uyumsuz bir arıza.

Tablo 2.4. Tasarım FMEA için keşfedilebilirlik derecelendirme tablosu

Keşfedilebilirlik	Derece	Kıstas
Hemen Hemen Kesin	1	Kontrol önlemleri uygulanabilir ve en yüksek etkililiğe sahip
Çok Yüksek	2	Çok yüksek etkililiğe sahip
Yüksek	3	Yüksek etkililiğe sahip
Orta Şiddette Yüksek	4	Orta şiddette yüksek etkililiğe sahip
Orta	5	Orta etkililiğe sahip
Düşük	6	Düşük etkililiğe sahip
Önemsiz	7	Çok düşük etkililiğe sahip
Çok Önemsiz	8	Uygulamadaki her bir sınıfta en düşük etkililik
Pek Zayıf	9	Kanıtlanamaz, güvenilemez ve etkililiği bilinmiyor
Hemen Hemen Olanaksız	10	Mevcut Tasarım Değerlendirme Tekniği yok veya hiç planlanmamış

Tablolardan anlaşılacağı üzere HTEA çoğunlukla geçmiş deneyimlere dayanan bir metottür. Bu metoda göre değerlendirme yapılabilmesi için en azından orta düzeyde bir süreç tecrübesi gereklidir. Mevcut deneyimlerin yanında aynı zamanda projeye ve sisteme has deneyimlere de ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konularda yaşanan sıkıntılar için kavram doğrulaması ya da prototipleme gibi yollara başvurularak yapılan tasarım nihai ürün olmadan önce doğrulabilir. Tez kapsamında kaynakların doğru kullanılması için kavram doğrulaması ya da prototipleme yapılmamıştır. Bunun yerine motor, redüktör ve rulman hesaplamaları yapılarak tasarımda seçilen malzemelerin doğrulanması yapılmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Mekanik Tasarım

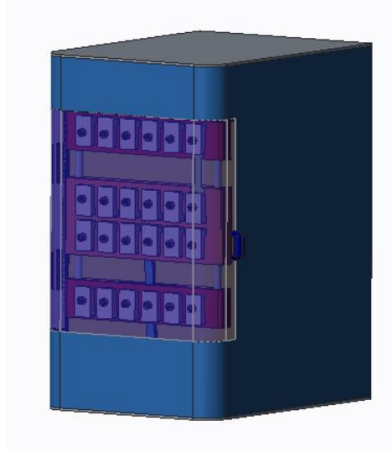
Mekanik tasarım kapsamında izlenen yol şu şekildedir: öncelikli olarak sistem için belirlenen isterleri karşılayacak çözüm önerilerini mekanik yapıya aktarılmasıyla başlamaktadır. Bu isterler karşılanırken bulunan birden fazla çözüm metoduna göre birden fazla konsept tasarım çıkarılır. Bu çıkarılan kavramsal tasarımlar sistemin bütünlüğünü bozmayacak şekilde en ideal çözümler tek bir tasarımda toplanır. Bu işlem yapılmadan önce isterler için şiddet ve önem sıralaması yapılmalıdır. Değerlendirme sonucuna göre belirlenen tasarım detay tasarım aşamasına geçer.

Mekanik tasarım 3 boyutlu tasarım programı ile yapılmıştır. Öncelikle standartta (ASTM D430) verilen mekanik isterler üzerine kurulmuştur. Bunun yanında piyasada kullanılan sistemler incelenmiş güçlü ve zayıf yönleri dikkate alınmıştır. Öncelikle sistem gereksinimlerini karşılayacak iki konsept tasarım üzerine çalışılmış ve bu tasarımlar güçlü ve zayıf yönleriyle değerlendirilmiştir. Tasarım bütünlüğü gözetilerek güçlü yönler tek tasarımda toplanmaya çalışılmıştır. Yapılan alternatif konseptler “Kavramsal Tasarım” bölümünde, seçilen tasarımın ayrıntılı hali “Detay Tasarım” bölümünde verilmiştir. Ayrıca detay tasarımın alt bileşenleri aynı bölüm altında farklı başlıklarla anlatılmıştır.

3.1.1. Kavramsal Tasarım

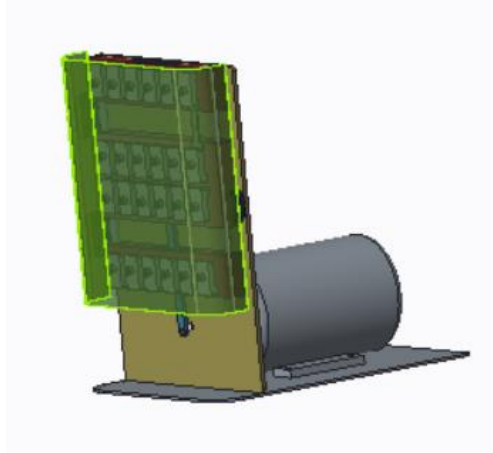
3.1.1.1. Kavramsal Tasarım I

Bu kavramsal tasarım çalışması yapılırken uluslararası standartların gereklilikleri yanında, mevcut ürünlerin sese sebebiyet veren özellikleri incelenmiş ve kayış kasnak kullanmaları sonucunda cihazın bu yüksek sesleri çıkardığı tespit edilmiştir. Bu konu için öncelikli olarak motorun doğrudan şafta bağlanması düşünülmüş ve bunun üzerine bir kavramsal tasarım çalışması yapılmıştır. Yapılan kavramsal tasarımın 3B modeli Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kavramsal tasarım I 3B model

Bu kavramsal tasarımda sistem tamamen kapalı bir koruyucu içine alınmıştır. Numune bağlamak için pabuçlar kullanılmıştır. Motor ise şafta direk bağlanacak şekilde hazırlanmıştır. Bu bağlantı Şekil 3.2’te görülebilir.



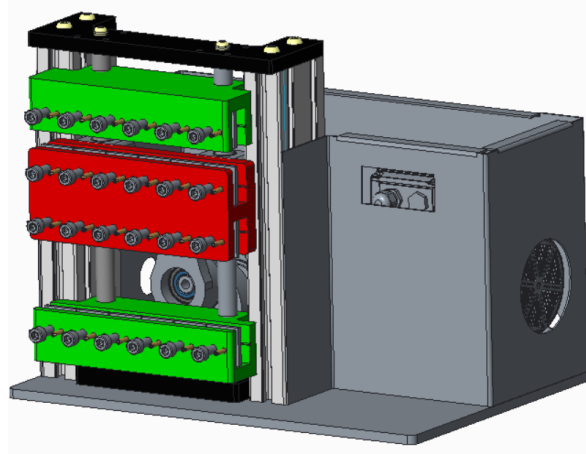
Şekil 3.2. Kavramsal tasarım I 3B iç model

Bunun yanında sabit çeneler tek bir plaka üzerine montajlanmış bu şekilde montaj ve demontaj kolaylığı sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca hareketli çenenin montajı ise iki sabit çeneye mil ile bağlanarak olası kasmaların önüne geçmeye çalışılmıştır. Sistemin üretimi kolaylaştırmak adına parça sayısı azaltılmaya çalışılmıştır. Motorun da dik olarak bağlanmasıyla sistemin en boyutları daraltılmış derinlik değeri arttırılmıştır. Bu özellikleriyle kompakt bir görünüş sağlanmaya çalışılmıştır. Bu kompakt görünüm ile kullanımı kolay bir görünüş elde edilmeye çalışılmıştır. 12 numune bağlanabilen bir tasarım yapılmıştır. Sistem tamamen kapatılarak ses seviyesi de düşürülmeye çalışılmıştır.

Bu kavramsal tasarımda eksantrik milin ayarlanması ve sabit çenelerin ayarlanmasında bazı zorlukların olabileceği gözlenmiştir. Motorun doğrudan bağlanması (aktarma organı kullanılmadan) motorun tork ve güç değerlerinin yükselmesine sebep olmuştur. Bu durum da düşürülmesi hedeflenen dB değerini yükseltmektedir. Aynı şekilde motorun sisteme dik bağlanması sonucunda geometrik ölçüleri genellikle kullanılan 600 mm derinlikteki tezgahlar için uygun olmadığı görülmüştür.

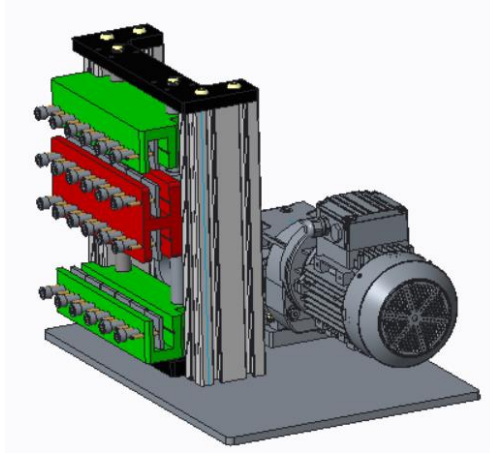
3.1.1.2. Kavramsal Tasarım II

Kavramsal tasarım II’de ise motor sisteme dik bağlanmak yerine paralel bağlanmış ve güç aktarımı redüktör ile sağlanmıştır. Şekil 3.4’de paralel bağlantı görülebilmektedir. Bu sayede daha düşük güçte bir motor ile daha yüksek tork edilmesi hedeflenmiştir. Daha düşük bir motor ile aynı zamanda daha düşük dB hedeflenmiştir. Motor sisteme paralel bağlanarak aynı zamanda derinlik ölçüsü değiştirilmiştir. Kavramsal tasarımın bütün hali ise Şekil 3.3’te görülebilir.



Şekil 3.3. Kavramsal tasarım II 3B model

Bu konseptte sabit ve hareketli çeneler mil üzerine yerleştirilerek, farklı numuneler için uygun bir konsept elde edinilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.4. Kavramsal tasarım II 3B iç model

Numuneler cıvata kontrollü pabuçlarla yapıldığı için pabuç oryantasyonundan emin olunmuştur. Sigma profiller eklenerek sistemin dikliğinden ve sarsılma/sallanma gibi olumsuzluklardan sistem korunmuştur. Kavramsal Tasarım I'e göre parça sayısı artmış olsa da eklenen parçalar hazır ürünlerden seçildiği için maliyet artışı sınırlandırılmıştır.

Sistemde kullanılan motor ve redüktör seçimi için gerekli hesaplamalar "Detay Tasarım" bölümünde anlatılmıştır.

3.1.1.3. Kavramsal Tasarımların Karşılaştırılması

Kavramsal tasarımlar Tablo 3.1'de karşılaştırılarak konseptlerin üstün özellikleri detaylıca belirtilmiştir.

Tablo 3.1. Kavramsal tasarım karşılaştırma tablosu

Kavramsal Tasarım I	Kavramsal Tasarım II	Üstünlük	Gerekçesi
Düşük Parça Sayısı	Fazla Parça Sayısı	Kavramsal Tasarım I	Düşük Maliyet ve Üretim Süresi
Dik Motor Bağlantısı	Paralel Motor Bağlantısı	-	-
Tezgâh Boyutuna Uygun Değil	Tezgâh Boyutuna Uygun	Kavramsal Tasarım II	Kullanım Kolaylığı

Görece Yüksek dB	Düşük dB	Kavramsal Tasarım II	Kullanım Kolaylığı
Bakım Sık	Bakım Seyrek	Kavramsal Tasarım II	Kullanım Kolaylığı
Büyük Gövdeli Motor	Küçük Gövdeli Motor	Kavramsal Tasarım II	Maliyet Avantajı
Redüktöre Gerek Yok	Redüktör Gerekli	Kavramsal Tasarım II	Maliyet Avantajı

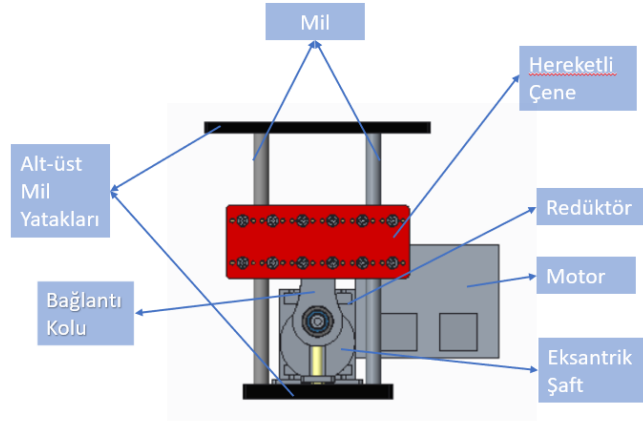
Yukarıda verilen karşılaştırma tablosu sonucunda kavramsal tasarım II seçilmiş ve detay tasarım, kavramsal tasarım II üzerine yapılacaktır. Elektronik sistemin yerleşimi bu kavramsal tasarım üzerine yapılacaktır. Sistemde kullanılan motor ve redüktör seçimi için gerekli hesaplamalar “Detay Tasarım” bölümünde anlatılmıştır.

3.1.2. Detay Tasarım

Yapılan kavramsal tasarım çalışmaları sonucunda ihtiyaçlara cevap verecek tasarım olarak kavramsal tasarım II seçilmiştir. Kavramsal tasarım II üzerinden tasarım detaylandırılarak aşağıda anlatılan tasarıma ulaşılmıştır. Bu tasarımın mekanik alt bileşenleri yine bu bölüm altında alt başlıklar halinde anlatılmıştır. Elektronik alt sistem ise “Elektronik Tasarım” bölümünde anlatılmıştır.

3.1.2.1. Hareket Mekanizması

Hareket mekanizmasının temel amacı hareketli çeneye hareketin aktarılmasıdır. Bu sayede numuneler üzerinde yapılacak teste göre esme veya burulma hareketi yaptırılmıştır. Hareket mekanizmasının bileşenleri: motor, redüktör, ayarlanabilir eksantrik şaft, bağlantı kolu, hareketli çene, yatak miller, alt-üst mil yatakları, mil yuvaları, burçlar ve kullanılan rulmanlardır. Kullanılan alt bileşenlerin yerleşimleri ön görünüşten Şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.5. Hareket mekanizması

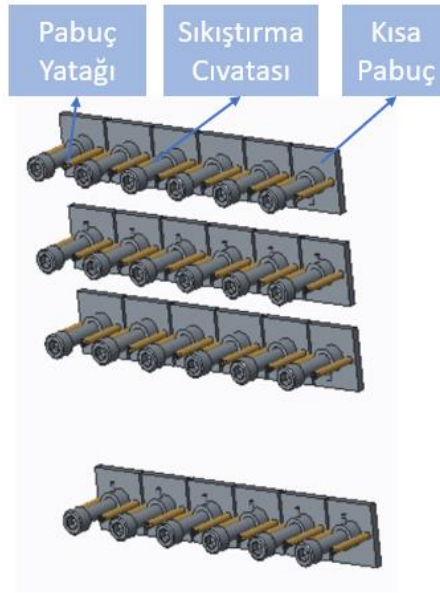
Hareketli mekanizma tasarımında redüktör ve motor seçimi en sona bırakılarak başlanmıştır. Öncelikle uluslararası standartlarla belirlenen hareketli çene hareket mesafesine göre boyutları ayarlanan mil, alt-üst mil yatakları ile başlanmıştır. Bunun üzerine hareketli çene sisteme yerleştirilmiştir. Hareketli çene hareket mesafesine göre sisteme bağlantı kolu ve eksenrik şaft yerleştirilmiştir. Bu parçaları birbirine bağlamak için rulman kullanılmıştır. Sistemdeki malzemeler imalat çeliği olarak seçilmiştir. Yalnız bağlantı koluna gelen yükler ve motorun taşıyacağı yük azaltılmak için bağlantı kolu alüminyum 6061 olarak değiştirilmiştir. Bağlantı kolu ile hareketli çene bağlanırken oynak bilyalı rulman seçilerek sistemde oluşacak kaçıklıkların bu rulman üzerinden alınması hedeflenmiştir. Rulman seçilirken sisteme düşen dinamik ve statik yükler hesaplanmış ve katalogdan rulman seçimi yapılmıştır. Bağlantı kolu ile eksenrik mil sabit bilyalı rulman ile sağlanmıştır. “Genel Bilgiler” bölümünde anlatılan “Rulman seçimi ve Rulman Ömür Hesabı” alt başlığında anlatılan bilgiler ışığında oynak bilyalı rulman ve sabit bilyalı rulmanlar 2204 ve 62204 serisi rulmanlar seçilmiştir. 2204 rulmana binen yükler hareketli çene ve ona bağlı parçalardan oluşmaktadır. Bu kısmın ağırlığı yaklaşık 9.5 kg’dır. Test gereği olarak devir/dk değerleri en yüksek 300 dk^{-1} olacağı baz alınarak hesaplandığında rulmanların ömürleri >1000000 saat çıkmaktadır. Bu saatte pratik olarak sonsuz ömür demektir.

Alt bileşenden yatak miller, alt-üst mil yatakları ile sabitlenmiştir. Yatak miller indüksiyonlu krom kaplı CK45 çeliği olarak seçilmiştir. Mil yataklar üzerine hareketli çeneye burçları barındıran mil yuvaları ile bağlanmıştır. Mil yuvaları hareketli çeneye 4 adet M6(metrik 6) cıvata ile bağlanmıştır. Burçlar iç kısmı teflon kaplı yarıklı burç olarak seçilmiştir. Bu sayede hareket esnasında en düşük sürtünme (sürekli yağlama ihtiyacı olmadan) hedeflenmiştir.

Yine yarıklı burç sayesinde burcun çakılacağı yuvanın genişliği ayarlanarak yataklama boşlukları ayarlanmıştır.

3.1.2.2. Numune Tutma Mekanizması

Numune tutma mekanizmasının amacı numunelerin sistem üzerinde sabitlenmesini sağlamaktır. Numune tutma mekanizmasının mekanik bileşenleri: 24 adet kısa pabuç, 24 tane sıkıştırma cıvatası ve 48 adet pabuç yatağı ve sabit ve hareketli çenelerdir. Kullanılan alt bileşenlerin yerleşimleri ön görünüşten Şekil 3.6’te verilmiştir.

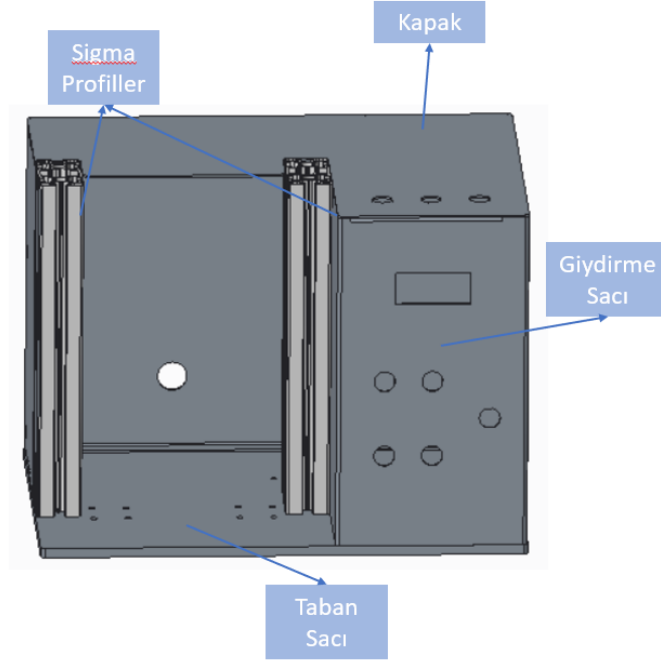


Şekil 3.6. Numune tutma mekanizması

Numune tutma mekanizması sisteme bağlanacak numunelerin test sırasında sabit tutulması için kısa pabuçlar üzerinde sürtünmeyi artırıcı önlemler alınmıştır. Sıkıştırılabilmek için M10 cıvata kullanılmıştır. Kısa pabuçların sıkıştırma esnasında yataklanması için pabuç yatakları kullanılmıştır.

3.1.2.3. Destek Parçaları

Destek parçaları daha çok sistemin bütünlüğü için görev yapan parçalardan oluşmaktadır. Bunun yanında titreşim sönümlenmesi için ve elektronik bileşenlerin yerleştirilmesi için kullanılan parçalar da bulunmaktadır. Bunlar: kapak, sigma profiller, taban sacı, giydirme sacı ve ayaklardır. Bu parçaların yerleşimleri ve 3B geometrileri Şekil 3.7’te verilmiştir.



Şekil 3.7. Destek parçaları

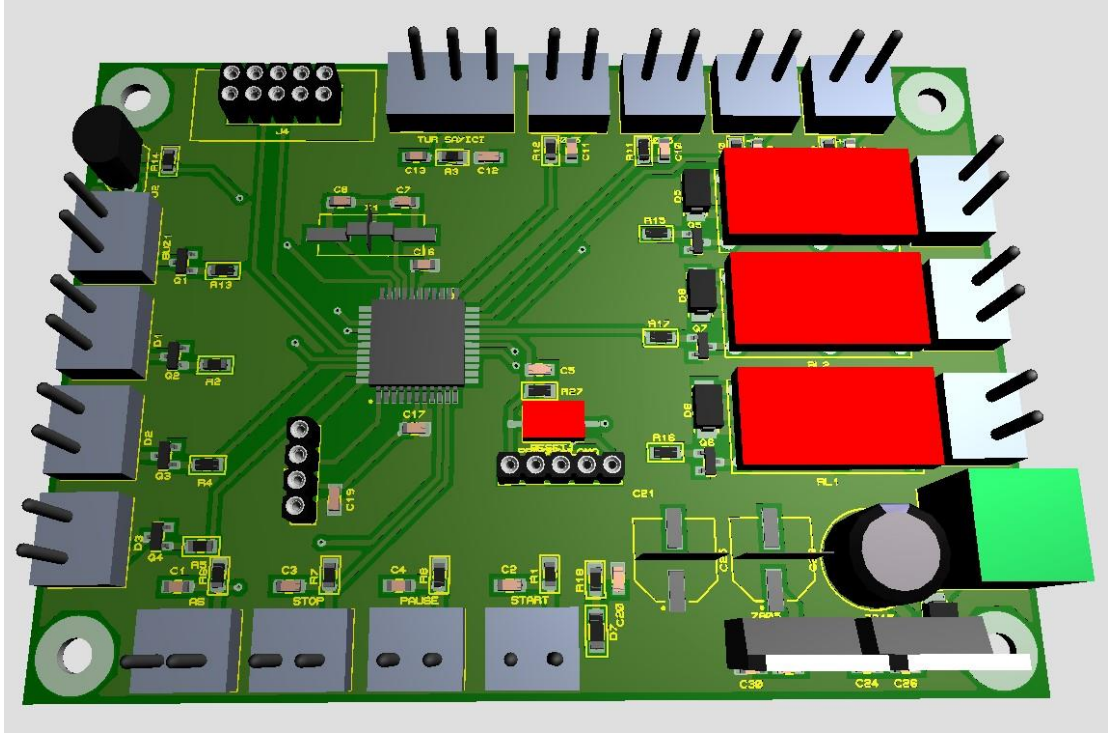
Taban sacı sistemin geri kalanının montajı için gerekli tamamlayıcı parçadır. Sigma profille hareket mekanizmasının ortaya çıkardığı titreşimi daha geniş yüzeye yaymak için seçilmiştir. Bunun yanında mekanik dayanımı da arttırmak amaçlanmıştır. Giydirme sacı sistemi dış etkilerden korumak için tasarlanmıştır, bunun yanında elektronik alt sistemin yerleşimi de bu parça üzerinde yapılmıştır. Kapak yine aynı amaçla kullanılmıştır. Aynı parça olmalarının sebebi hareketli çenenin eksantrikliğinin ayarlanması için söküp takılabilir bırakılmıştır. Test cihazının üzerinde oluşan titreşimin sönümlenmesi ve zemine göre teraziye alınabilmesi için sisteme 6 adet ayak yerleştirilmiştir.

3.2. Elektronik Tasarım

Elektronik alt sistem sistemin otomasyonu amacıyla sisteme eklenmiştir. İki ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar: Motor Kontrol ve Kullanıcı Kontrol bölümleridir.

3.2.1.1. Motor Kontrol Bölümü

Motor kontrol bölümü öncelikli olarak sisteme hareketi sağlayan elektrik motorunun kullanıcı ara yüzünden gelen bilgiler doğrultusunda sürülmesini sağlayan bölümdür. Bu bölümü oluşturan parçalar: Motor sürücüsü, BDK (baskı devre kartı), potansiyometre ve tur okuyucu sensördür. Temelde “Kullanıcı Kontrol Bölümü” nde anlatılacak olan kullanıcı ara yüzünden gelen datalar BDK tarafından motor sürücüsünü sürmek için kullanılır. Motor



Şekil 3.9. BDK 3B simülasyonu

Baskı devre kartının tasarım görüntüsü Şekil 3.9’te verilmiştir. BDK MicroC for PIC ile programlanmış, simülasyon ve denemeleri Proteus 8.5 ile yapılmıştır.

3.2.1.2. Kullanıcı Kontrol Bölümü

Kullanıcı kontrol bölümünde temel amaç test parametrelerinin kullanıcı tarafından sisteme tanımlanmasını sağlamaktır. Ne kadar tur sayısının gerekli olduğu kullanıcı tarafından butonlar kullanılarak sisteme belirtilmesi gerekmektedir.

3.3. Hata Türleri ve Etkileri Analizi

Bu bölümde öncelikli olarak standarttan elde edilen zorunlu gereksinimler, sonrasında sistemin muadillerinden elde edilen ve kullanıcılarla yapılan görüşmeler sonucunda çıkarılan isterler listelenmiştir. Sonrasında ise bu isterlerin nasıl karşılanacağına dair farklı metotlar ve en sonunda karar verilen çözüm için HTEA sonucu verilmiştir. İster kaynakları ve isterlerin listesi aşağıdaki Tablo 3.2’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 3.2. İster-ister kaynağı çizelgesi

İSTER	İSTER KAYNAĞI
En az 6 numune bağlanabilmelidir. Tercihen 12 numune bağlanabilir olmalıdır.	ASTM D430
Her numune ayrı ayrı sıkıştırılabilmelidir.	ASTM D430
Bağlantı Kolu/Eksantriklik \geq 10	ASTM D430
Hareketli çene ve sabit çene arası en az 19 en çok 75,9 mm olmalıdır.	ASTM D430
Zaman veya tur sayacı olmalıdır.	ASTM D430
Durdurulabilir ve devam ettirilebilir test düzeneği olmalıdır.	ASTM D430
Hareketli çene 300devir/dk sabit hıza sahip olmalıdır.	ASTM D430
Ses seviyesi 70 dB'den az olmalıdır.	Kullanıcı
Cihaz boyutları laboratuvar şartlarına uygun olmalıdır.	Kullanıcı
Düşük elektrik tüketimi	Kullanıcı

Yukarıdaki tabloda meydana gelecek sistem için standartların ve mevcut kullanıcıların isterine göre bir ister-ister kaynağı tablosu yapılmıştır. Aşağıdaki Tablo 3.3'te ise belirlenen isterlerin yapılan tasarım ile nasıl karşılandığı anlatılmıştır.

Tablo 3.3. İster-Kavramsal tasarım karşılama çizelgesi

İSTER	Kavramsal Tasarım I	Kavramsal Tasarım II
En az 6 numune bağlanabilmelidir. Tercihen 12 numune bağlanabilir olmalıdır.	Tasarım 12 numune bağlanabilir şekilde tasarlanmıştır.	Tasarım 12 numune bağlanabilir şekilde tasarlanmıştır.
Her numune ayrı ayrı sıkıştırılabilmelidir.	Ayrı ayrı sıkıştırma yapılabilmesi için bağımsız 24 adet sıkma mekanizması tasarımı yapılmıştır.	Ayrı ayrı sıkıştırma yapılabilmesi için bağımsız 24 adet sıkma mekanizması tasarımı yapılmıştır.
Bağlantı Kolu/Eksantriklik \geq 10	Eksantriklik ayarlanabilir bırakılmıştır. Bağlantı kolu 120 mm olarak ayarlanmıştır.	Eksantriklik ayarlanabilir bırakılmıştır. Bağlantı kolu 106 mm olarak ayarlanmıştır.

Hareketli çene ve sabit çene arası en az 19 en çok 75,9 mm olmalıdır.	Sabit çene konumları sabittir. Bu durum eksantrikliği kısıtlamaktadır.	Sabit çeneler mil üzerinde serbest bırakılmıştır.
Zaman veya tur sayacı olmalıdır.	Sisteme tur sayacı eklenmiştir	Sisteme tur sayacı eklenmiştir.
Durdurulabilir ve devam ettirilebilir test düzeneği olmalıdır.	Sistem, elektronik kontrol sistemi sayesinde durdur-devam et komutuna izin vermektedir.	Sistem, elektronik kontrol sistemi sayesinde durdur-devam et komutuna izin vermektedir.
Hareketli çene 300devir/dk sabit hıza sahip olmalıdır.	0,37 kW motor ile güç sağlanmıştır. Devir sayısı redüktör ile düşürülmüş ve potansiyometre ile ayarlanabilir bırakılmıştır.	0,25 kW motor ile güç sağlanmıştır. 3000 devir redüktör ve motor sürücü ile 300 devir/dk'ya sabitlemiştir.
Ses seviyesi 70 dB'den az olmalıdır.	Beklenen ses seviyesi 70-80 dB arasındadır.	Beklenen ses seviyesi 60-70 dB arasındadır.
Cihaz boyutları laboratuvar şartlarına uygun olmalıdır.	En boyutları standart tezgâh boyutlarının üzerindedir.	Ölçüler laboratuvar şartlarına uygundur.
Düşük elektrik tüketimi	0,37 kW motor kullanıldığı için tüketim fazladır.	0,25 kW motor kullanıldığı için tüketim görece azdır.

Yukarıdaki tabloda kavramsal tasarımlarda önerilen çözüm önerileri anlatılmıştır. Bu çözümlerin tasarıma yansıtılmış halleri 3.1.1 Kavramsal Tasarım bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu bölümde seçilen çözüm için HTEA yapılmıştır. Yapılan hata türleri ve etkileri analizi Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Çözüm HTEA

İSTER	Karar verilen Çözüm	Birincil Sebep	Meydana Gelme Olasılığı	Şiddet	Keşfedilebilirlik	Risk
En az 6 numune bağlanabilmelidir. Tercihen 12 numune bağlanabilir olmalıdır.	Kavramsal Tasarım I-II	Test esnasında numune tutucuların gevşemesi	3	6	4	72
		Numunelerin yeterince sıkılmaması	3	6	4	72
		Mekanizma kitlenmesi	1	3	1	3
Her numune ayrı ayrı sıkıştırılabilmelidir	Kavramsal Tasarım I-II	Numunelerin üst üste gelmesi	3	6	1	18
Bağlantı Kolu/Eksantriklik ≥ 10	Kavramsal Tasarım II	Eksantriklik ± 10 mm'nin üstüne ayarlanabilir.	4	2	3	24
Hareketli çene ve sabit çene arası en az 19 en çok 75,9 mm olmalıdır.	Kavramsal Tasarım II	Sabit çene ayarı yapılmadan test yapılabilir.	4	3	4	48
Zaman veya tur sayacı olmalıdır.	Kavramsal Tasarım I-II	Tur sayacı doğru okuma	2	8	2	32

		yapmayabilir.				
Durdurulabilir ve devam ettirilebilir test düzeneği olmalıdır.	Kavramsal Tasarım I-II	Durma esnasında elektrik giderse test sistemi başa dönebilir.	3	8	1	24
Hareketli çene 300devir/dk sabit hıza sahip olmalıdır.	Kavramsal Tasarım II	Devir hızı değişebilir.	1	10	10	100
Ses seviyesi 70 dB'den az olmalıdır.	Kavramsal Tasarım II	Beklenmedik titreşimler ses seviyesini arttırabilir.	3	4	5	60
Cihaz boyutları laboratuvar şartlarına uygun olmalıdır.	Kavramsal Tasarım II	Standart olmayan bir tezgah kullanımı olabilir.	1	8	1	8
Düşük elektrik tüketimi	Kavramsal Tasarım II	Motora beklenenin üstünde yük gelebilir.	1	2	8	16

Yukarıda verilen tablo ile çözüm içerisinde meydana gelebilecek problemlerin HTEA'sı yapılmıştır. Derecelendirilen problemler için detaylı değerlendirmeler "Sonuçlar ve Tartışma" bölümünde yapılmıştır.

3.4. Numunelerin Hazırlanması

Tasarımı ve prototip üretimi gerçekleştirilen test cihazı için iki farklı yolla numune tedariki sağlanmıştır. Öncelikle Polimer Araştırma laboratuvarlarımız bünyesinde reçeteleri hazırlanan kauçuk hamurları, kalıplanıp pişirilerek numune temini sağlanmıştır. Bunun yanında ağırlıklı olarak otomotiv sektörü için hava süspansiyon körükleri üreten Aktaş Hava Süspansiyon Sistemleri San. ve Tic. A.Ş.'den üretim hatlarından çıkan pişmiş kauçuk numunelerinden <2 milyon ve >5 milyon tur ömürlü iki farklı numune seti temin edilmiştir. Bu numuneler prototipini hazırlanmış test cihazı ile test edilmiştir. Aşağıdaki bölümde kauçuk işlemciliği laboratuvarlarımız bünyesinde hazırlanan numunelerde kullanılan malzemeler, kullanılan cihazlar, numunelerin hazırlanma yöntemi ve numune reçeteleri detaylı olarak verilmiştir.

3.4.1. Kauçuk Hamurlarının Hazırlanması

Tasarımı ve üretimi yapılan Demattia-Esnek Çatlama test cihazı için numuneler doğal kauçuk esaslı elastomerler kullanılmıştır. Bu numuneler hazırlanırken önce kauçuk hamuru hazırlanmıştır bu amaçla Banbury ve açık mil cihazları kullanılmıştır. METGÜR marka banbury cihazı ile karışımlar hazırlanmıştır. Karıştırma esnasında erken pişmeyi engellemek için Üçsan kule tipi soğutma sistemi kullanılmıştır. Hamur banburyde 10 dakika karıştırıldıktan sonra 15 dakika açık milde döndürülmüştür. Daha sonrasında bechoff'ta hamur soğumaya bırakılmıştır.

Karışım hazırlanması için öncelikle doğal kauçuğun ezilmesi gerekmektedir. Bu işlem banbury kullanılarak yapılmıştır. Doğal kauçuk 2 dakika ezildikten sonra karbon siyahı dahil olmak üzere dolgu maddeleri ve proses yağları eklenerek karıştırmaya devam edilmiştir. Sonrasında karışıma aktivatör ve koruyucu kimyasallar eklenmiştir. Karışım tamamlandıktan sonra 8 dakika daha banburyde karıştırılmaya devam edilmiştir. Banbury dönme sıcaklığı karışım için 70°C ile 90°C arasındadır. Banburyden çıkarılan karışım açık milde 1 dakika 40°C'de döndürüldükten sonra vulkanizasyonu kimyasalları eklenerek yaklaşık 15 dakika açık milde döndürülmüştür. Numuneler istenilen kalınlıkta açık milden çıkarılarak yaklaşık 20 dakika soğumaya bırakılmıştır. Hazırlanan karışım aşağıda verilmiştir. Yukarıda anlatılan hazırlık süreci Babacan Kauçuk'tan temin edilen numuneler için geçerlidir.

3.4.2. Kauçuk Reçetesi ve Standart'a Uygun Boyutlandırılması

Esnek çatlama ömür testi için Prof. Dr. Murat Şen ile Babacan Kauçuk firması arasında yürütülen bir proje kapsamında geliştirilen bir reçeteyi göre doğal kauçuk esaslı bir hamur hazırlanmıştır. Demattia-Esnek çatlama test cihazı Babacan firması bünyesinde olmadığı için referans değeri bulunmamaktadır. Kauçuk reçetesi aşağıda verilmiştir (Tablo 3.5. NR-MT60 Kauçuk reçetesi Tablo 3.5).

Tablo 3.5. NR-MT60 Kauçuk reçetesi

Reçete	NR- MT60
	PHR
RSS3	80
CBR 1203	20
MT 990	40
FEF 550	24
HAF 330	8
AROMATİK YAĞ	1
ÇİNKO OKSİT	6
STEARİK ASİT	1
KORUYUCULAR	5
PIŞİRİCİ SİSTEMİ	4,8
REÇİNE	3

Yukarıda reçetesi verilen kauçuk numunesinin geliştirilen cihaz üzerinde test edilebilmesi için boyutlarının standartlara uygun şekilde kalıplanması gerekmektedir. Bunun için standartlara uygun şekilde kalıp modeli 3 boyutlu olarak çizilmiş ve Babacan Kauçuk bünyesinde üretilerek hazırlanan hamur pişirilmiştir.

Aktaş firmasından alınan numuneler için hazırlanma süreci ve reçeteler gizlilik kapsamında olduğu için tez kapsamında verilememiştir.

3.5. Cihazın Test Edilmesi İçin Yapılan Çalışmalar

Sistemin test edilmesi için öncelikli olarak kendi içinde doğrulanması gerekmektedir. Bunun için numune bağlanmadan aralıksız olarak çalıştırılması ve parçaların kontrol edilmesi gerekmektedir. Kontrol edilmesi gereken parçalar: BDK'nın sıcaklık kontrolü, redüktörün sıcaklık kontrolü, numune tutma mekanizması gibi kritik parçalardır. Aralıksız çalışma sonucunda sistemde beklenmedik bir sorun gözükmesi durumunda numuneli teste geçilmeden önce önlem alınması gerekmektedir. Oluşabilecek problemleri tespit etmek için teste başlamadan önce ilgili parçaların sıcaklık değerleri ölçülmelidir. Boyutsal değişiklikler için gerekli ölçümler alınmalı, şekil değişiklikleri için fotoğraflar çekilmelidir. Test belli aralıklarla durdurularak gerekli ölçümler ve fotoğraf çekimleri yapılmalıdır. Daha sonra toplanan bu datalar değerlendirilmeli ve artış gözükken bir değişken olması durumunda teste devam edilmesi gerekmektedir. Test en az 24 saat olarak programlanmıştır. Bütün değişkenler sabit değerlerine ulaşınca test bitirilmesi gerekmektedir.

Sistem numunesiz olarak çalıştırıldıktan sonra numunelerin standartlara uygun olarak temin edilmesi gerekmektedir. Bunun için öncelikle standartta belirtildiği şekilde bir numune hazırlama kalıbına ihtiyaç vardır. Numune kalıbı imal edildikten sonra farklı firmalardan kauçuk numuneleri kalıplanıp standartlara uygunluk için ölçüleri kontrol edilmelidir. Çentik çevresinin hatasız olmasına dikkat edilmeli her hamur için en az 3 numune hazırlanmalıdır. Hazırlanan numuneler test sistemi ile aynı sıcaklık ve nemde 12 saat şartlandırıldıktan sonra teste başlanabilir.

Test için hazırlanan numuneler redüktör mili hareket ettirilerek sabit çene ve hareketli çene üzerine kısa tırtıl parçasını ilerleten sıkıştırma civatası ile sıkıştırılmıştır. Alt sıradaki numuneler yerleştirildikten sonra yine redüktör mili döndürülerek sabit çene ile hareketli çene arası en geniş seviyeye gelecek şekilde ayarlanıp ve üst sıraya numuneler aynı şekilde yerleştirilmiştir. Numuneler özdeş 3 numune setinden 2 set olmak üzere ayarlanmıştır. Bütün numunelerin yerleşimi tamamlandıktan sonra sıkıştırma civataları son bir kez daha kontrol edilmiştir. Numunelerin çentikli yüzeylerinin dışarı baktığı kontrol edilmiştir. Üst üste gelmiş numune olmadığından ve numunelerin hareket yönüne paralel yerleştirildiği kontrol edilmiştir. Sistem üzerinde 6 adet ayarlı ayak bulunmaktadır. Sistemin bu 6 ayak üzerinden yere bastığı kontrol edilmiştir.

Bu aşamadan sonra sisteme güç gitmesi için pako şalter açılmıştır. Ekranda test tur sayısı girilmesi için uyarı yazısı çıktığında butonlar kullanılarak, test tur sayısı girilmiştir. Sistemin çalışmasını engelleyecek ve sisteme ait olmayan parçalar sistemin çevresinden uzaklaştırılmıştır. Bu aşamadan sonra başlatma butonuna basılarak test başlatılmıştır. Test boyunca gözlemlenmek istenen durumlara göre test durdurulup yeniden başlatılmıştır. Hedef tur sayısına erişildiğinde sistem otomatikman durmaktadır. Bu aşamadan sonra numuneler sistemden sıkıştırma cıvataları gevşetilerek çıkartılmıştır. Bu aşamada test sonuçlarını etkileyecek şekilde numunelere güç uygulanmadan test cihazından ayrılmıştır. Çıkarılan numuneler üzerindeki çatlaklar “Genel Bilgiler” bölümünde anlatılan Tablo 2.1’e göre değerlendirilerek sınıflandırılmıştır. Yapılan test sistemiyle test edilen numunelerin sonuçlarıyla, numunelerin temin edildiği firmalardaki sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu aşamadan sonraki kararlar testi uygulayan kullanıcıya bırakılmıştır. Kabul edilebilirlik, çatlakların değerlendirmesi kullanıcıya aittir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Mekanik Tasarım

Mekanik tasarım çalışmaları boyunca uluslararası standartlarla belirlenmiş isterler göz önünde bulundurulmuştur. Bunun yanında enerji tüketim seviyesi, sistem ağırlığı, üretim maliyetleri, sistem çalışma ses seviyesi, çalışma güvenliği önlemleri ve test doğruluğu gibi isterler de tasarımın girdilerini oluşturmuştur. Bu bölümün altında önceki bölümde anlatılan kavramsal tasarımlar karşılaştırılmış ve sonuçlarının detay tasarıma aktarılması sağlanmıştır. Bu bilgilerle yapılan mekanik detay tasarım ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Ayrıca meydana getirilen sistem ile yapılan test sonuçları gerekçeleriyle birlikte verilmiştir.

4.1.1. Detay Tasarım

Bu bölümde sistemi bir araya getiren hareket mekanizması, numune tutma mekanizması ve destek parçaların tasarım ve üretim süreçleri detaylı olarak anlatılmıştır.

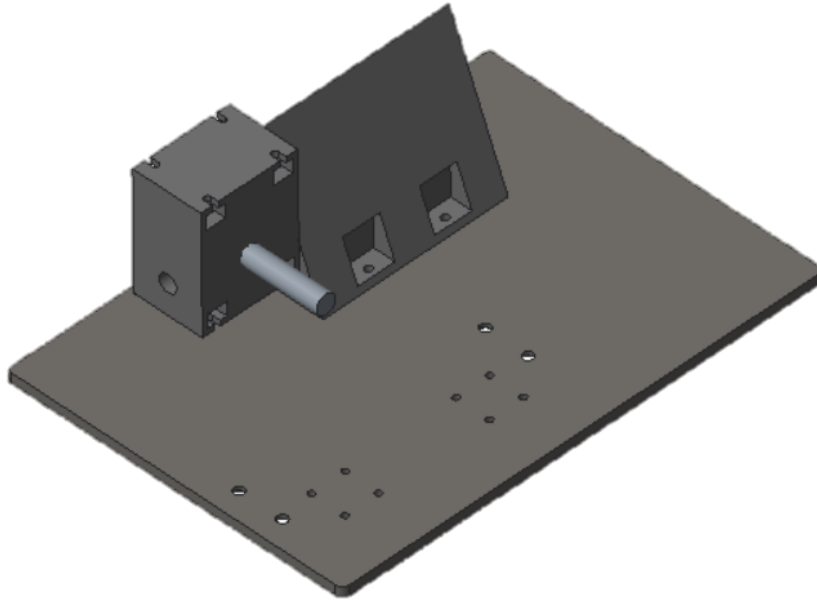
4.1.1.1. Hareket Mekanizması

Hareket mekanizmasının asli amacı motorda üretilen dairesel hareketin aşağıda detaylı bir şekilde anlatılan yöntemle doğrusal harekete çevirmektir. Bu asıl amacının yanında hareketten doğacak titreşimin diğer parçalara aktarılması ve en sonunda sönümlenmesi sağlanmıştır. Hareket mekanizmasında yapısal dayanım, hareket aktarma veriminin artırılması da sağlanmıştır. Yine aşağıda daha detaylı anlatılmak üzere yapısal dayanım için malzeme seçimi ve tasarımlar; hareket aktarma verimi için redüktör, rulman ve burç tercihleri yapılmıştır.

Hareketin ilk başladığı nokta olan motor seçimi sistemin ihtiyaçlarına göre şu şekilde hesaplanmıştır. Hareketli çenenin ağırlığı yapılan tasarım sonucunda üzerindeki diğer yüklerle beraber 9,5 kg olmaktadır. Bununla beraber hareketli çenenin yatakları teflon kaplı pirinç burç seçildiği için bu parçanın çalışma esnasındaki sürtünmesi 0 olarak kabul edilmiş ve hesaplama katılmamıştır. Burç sürtünme değerleri ekler bölümünde EK 5 olarak verilmiştir. Bu aşamada motorun doğrusal hareket durumunda kaldırması gereken kuvvet 9,5 kg'dır. Genel Bilgiler bölümünde verilen formül 4'e göre $T_{Hedef}(Nm)$ değeri hesaplanması için gerekli olan bir diğer bilgi doğrusal hareketin sınır ölçüleridir. Standartta verildiği üzere bağlantı kolunun 10'da 1'i olması gerekir. Bağlantı kolu boyu 106 mm olarak belirlendiği için eksantriklik 10,6 mm olması gerekmektedir. Burada eksantriklik güvenlik maksatlı 30 mm olarak tasarlanmıştır. Bu bilgilerle hesap yapıldığında 2,85 Nm olarak

$T_{Hedef}(Nm)$ 'in olduğu görülür. Bu tork değerinin sağlanması için redüktör-motor seçimi yapılmıştır. Bu değer ile redüktör ucunda bu tork değerinden büyük bir değer olması gerektiği için bu değer üzerinde bir motor-redüktör birlikteliği seçilmiştir. Seçilen motor 0,25 kW 3000 devir iken redüktör tahvili 7,5'tur. Formül 5 ile hesap yapıldığı zaman motor çıkış torkunun yaklaşık 0,8 Nm olduğu hesaplanmıştır. Bu bilgiyle beraber redüktör mili üzerindeki tork formül 6'ya göre hesaplandığında 4,77 Nm bulunmuştur. Bu da istenen tork değerinin yaklaşık 1,8 katıdır. Hesaba katılmayan sürtünme ve beklenmedik yükler de göz önüne alındığında güvenlik katsayısı yeterlidir.

Yukarıda verilen hesaplarla motor ve redüktör seçimi anlatılmıştır. Bu ikilinin yerleşimi ve montajı için taban parçası üzerinde boş delikler açılmış ve M6 cıvata ve somun ile taban plakasına redüktör üzerinden bağlanmıştır. Motor ve redüktör montajı aşağıdaki Şekil 4.1'de görülmektedir.

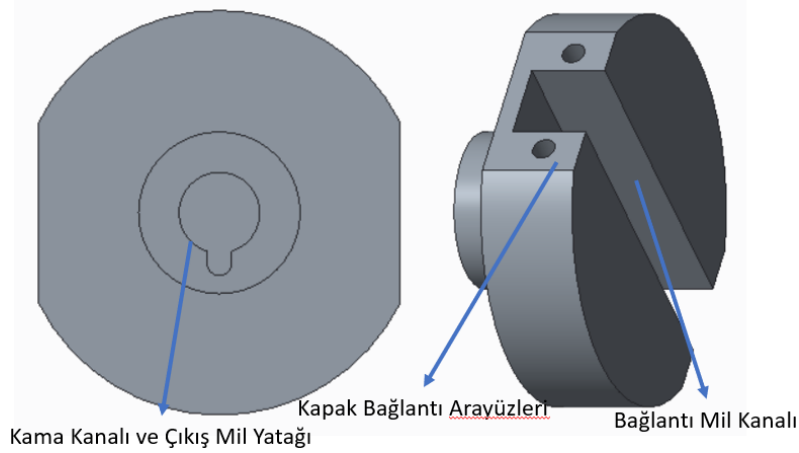


Şekil 4.1. Motor-redüktör ve taban plakası bağlantısı

Asıl hedefimiz olan dairesel hareketi doğrusal harekete çevirmek olduğu için redüktör çıkışına eksantrik şaft yerleştirilmiştir. Bu parçanın tasarımı için öncelikle redüktör çıkış mili tasarımı yapılmıştır. Redüktör iç çapı ölçülerek dar bir toleransta bir mil tasarımı yapılmıştır. Redüktörün aktardığı hareketi mile almak için kama kullanılmıştır. Kama seçimi Ek 6'da verilen tabloya uygun yapılmıştır. Redüktör çıkış mili için ıslah edilebilir çelik kullanılmıştır. Zamanla hareketten kaynaklı yorulmaların önüne geçebilmek için ıslahlı 4140

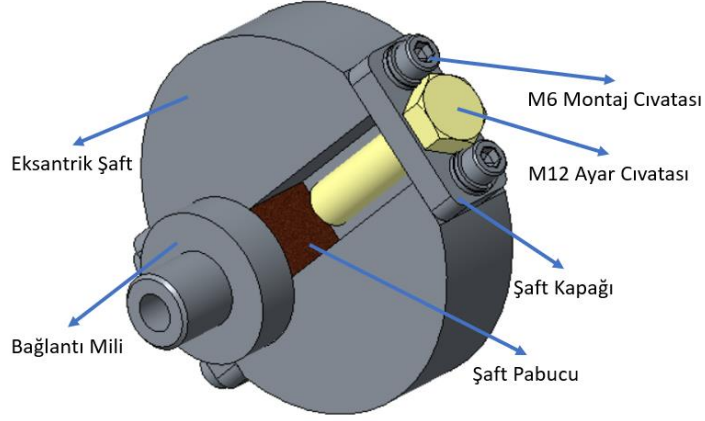
çeliği olarak temin edilmiş cnc torna ile silindirik yapısı işlenmiş ve üzerine kama yarığı cnc freze ile açılmıştır.

Redüktör çıkış milindeki hareketin önüne doğrusal hareket için eksantrik şaft yerleştirilmiştir. Eksantrik şaft tasarımına redüktör çıkış milinin yataklanacağı bölüm ile başlanılmıştır. Burada yine geçme toleransıla bir silindir yuva açılmıştır. Bu yuvaya hareketin aktarılması için kama yuvası açılmıştır. Bu bölümden sonra aynı parça üzerine eksantrikliğin ayarlanabilmesi için bir kanal açılmıştır. Bu kanal içine yerleştirilecek olan bağlama miline uygun şaft pabuçlarına uygun bir tasarım yapılmıştır. Eksantrikliğin ayarlanması için kanalın iki tarafından basabilecek M12 cıvata için iki adet kapak tasarımı ve bu parçalar için montaj ara yüzleri eksantrik şaft üzerine açılmıştır. Burada parça hafifletilmek için AA yüzeyi şeklinde iki tarafından tıraşlanmıştır. Bağlama şaftı hareket kaynaklı yorulmalara karşı dayanıklı olması için ıslahlı 4140 çeliğinden torna ve freze operasyonları ile ürettirilmiştir. Aşağıdaki Şekil 4.2’de söz edilen bölümler parça üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Eksantrik şaft

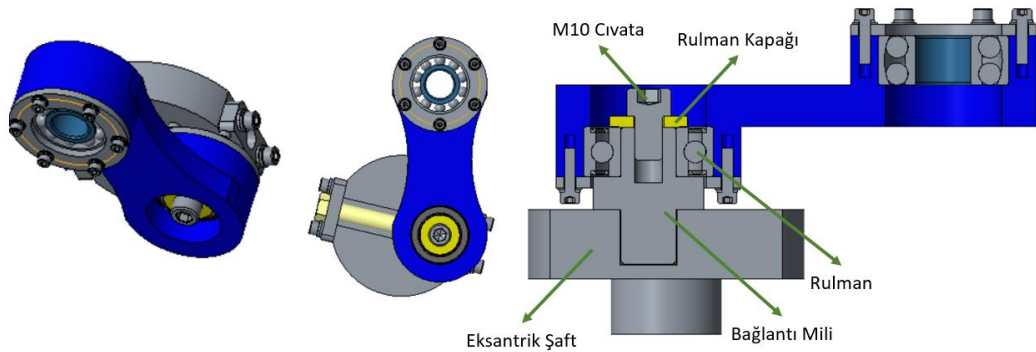
Bağlantı mili ve eksantrik şaftın çalışması ve montaj hali aşağıdaki Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Eksantrik şaft montajı

Karşılıklı M12 cıvataların sıkılıp gevşetilmesiyle bağlantı milinin konumu ayarlanarak eksantriklik ayarlanmaktadır.

Burada sağlanan hareketin bağlantı koluna aktarılması esnasında bağlantı mili tam olmayan dairesel hareketlerle bağlantı kolunun içinde dönmektedir. Bu dönüş hareketlerinin verim kaybına sebep olmaması için bu bağlantı için rulman kullanılmıştır. Bu bağlantının sağlanabilmesi için bağlantı mili bir tarafında şaft pabuçlarıyla tutulabilir şekilde silindirik geometride yapılmıştır. Diğer tarafında ise rulmana sıkı girecek şekilde toleranslandırılmıştır. Alınlarından birine rulmana basabilmek için cıvata deliği açılmıştır. Bu cıvata deliği kullanılarak rulman takıldıktan sonra rulman ekseninde hareketi sınırlandırmak için rulman kapağı takılmıştır. Burada yapılan montaj ilişkisi aşağıdaki Şekil 4.4'te detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Eksantrik şaft- bağlantı kolu montajı

Bağlantı milinin hareket aktaracağı parça ise bağlantı koludur. Bağlantı kolu ile bağlantı mili arasındaki bağlantı daha önceden anlatıldığı gibi rulman ile sağlanmıştır. Yine aynı şekilde bağlantı kolundaki hareket aktarılacak için de rulman tercih edilmiştir. Bu rulmanlar için bağlantı kolu üzerinde iki adet rulman yuvası açılmıştır. Rulman yuvaları rulman eninden 0,1 mm daha az derinlikte yapılmıştır, bu sayede rulman kapakları ile rulmanın dış bileziğine basılıp rulmanın daha iyi çalışması sağlanmıştır. Bağlantı kolu rulman yataklarıyla bağlandığı için üzerindeki yükler geniş bir alana dağılmıştır. Bu yüzden üzerinde stres birikmesi olmayacağı için bu parça alüminyum 6061 malzemeden cnc freze tezgahında üretilmiştir. Rulmanlara basabilmek için rulman kapağı arayüzü de bırakılmıştır. Aşağıdaki resimde rulman yatakları ve kapak arayüzünün görülebilir.

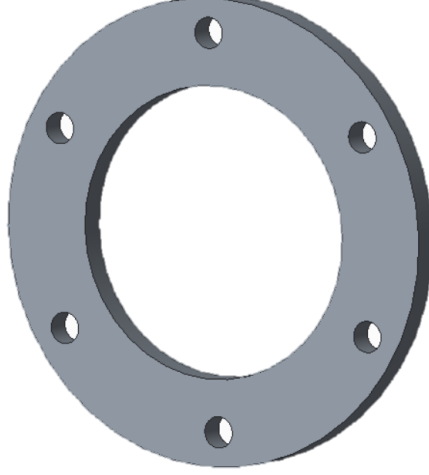


Şekil 4.5. Bağlantı kolu

Yapılan katalog taramasında FAG 2204 ve ORS 62204 rulmanları tasarım için uygun olduğu görülmüştür. Kullanılacak rulmanların seçimi için öncelikli olarak rulman ömür hesabı yapılmıştır. Hesaplama için 2.7 Rulman Seçimi ve Rulman Hesabı bölümünde ayrıntılı olarak anlatılan yöntem kullanılmıştır. Rulman kataloglarından alınan değerler bu bölümde verilen eşitliklerle kullanılarak rulman ömür hesapları yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda her iki rulman ömrü 1000000 saatten fazla çıktığı için rulmanlar sonsuz ömürlü olarak kabul edilmiştir. Bu sebeple cihaz tasarımında seçilen rulmanlar kullanılmıştır.

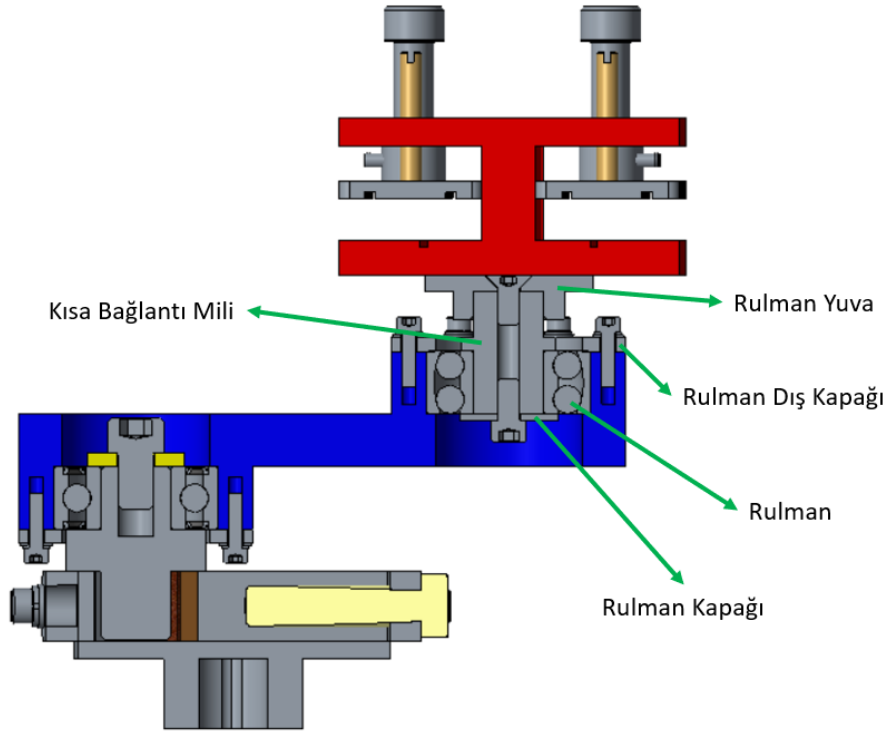
Bağlantı kolu üzerine yerleştirilen rulmanların dış bileziklerine basmak ve sabitlemek için Kol rulman kapağı kullanılmıştır. Dış çap ölçüleri bağlantı kolu parçasının dış geometrisine uygun yapılarak bütünlük sağlanmaya çalışılmıştır. İç çapı ise rulman dış bileziğinin iç çapını geçmeyecek şekilde tasarlanmıştır. 4140 çelik malzemeden üretilen parça cnc tornada

işlenmiştir. Üzerine 6 adet cıvata deliği açılması rulmanın bütün yüzeyine basabilmek içindir.



Şekil 4.6. Kol rulman kapağı

Bağlantı kolu ile hareketli çene arasındaki bağlantı ise kısa bağlantı mili ile sağlanmıştır. Bu parça bağlantı kolu üzerindeki rulmana sıkı geçme toleransı ile geçirildikten sonra alnındaki cıvata deliği kullanılarak rulman kapağı ile bağlantı koluna bağlanmıştır. Rulman yuva parçasıyla da hareketli çeneye bağlanmaktadır. Kısa bağlantı milinin doğrudan hareketli çeneye bağlanmaması, kısa bağlantı mili üzerinde oluşacak radyal momentlerin daha geniş yüzeye dağıtılması amacıyla. Rulman yuva parçasıyla çap 20mm olan basma yüzeyi çap 48 mm'ye çıkarılmıştır. Montajın yapılabilmesi için kısa bağlantı milinin anlına açılan cıvata dişi ile rulman yuvaya çektilmiştir. Aralarındaki montaj ilişkisi aşağıdaki resimde detaylı olarak gösterilmiştir. Bu parça üzerindeki kesme kuvvetlerine karşı ıslahlı 4140 çelik malzemedan cnc torna kullanılarak imal edilmiştir.

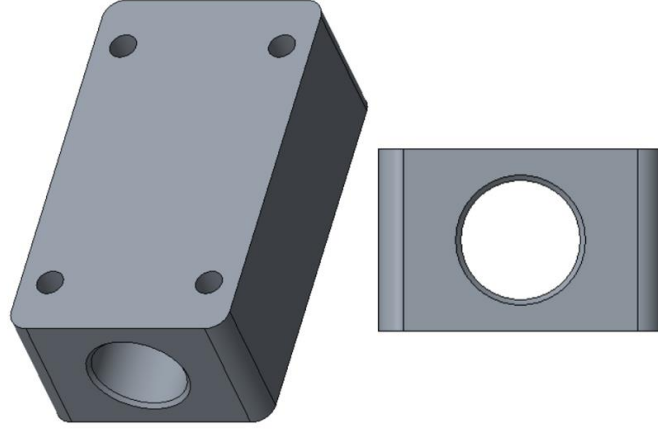


Şekil 4.7. Bağlantı kolu-hareketli çene ilişkisi-kesit

Yukarıdaki Şekil 4.7’da parçaların birbiriyle olan montaj ilişkileri ayrıntılı olarak kesit resimde gösterilmiştir.

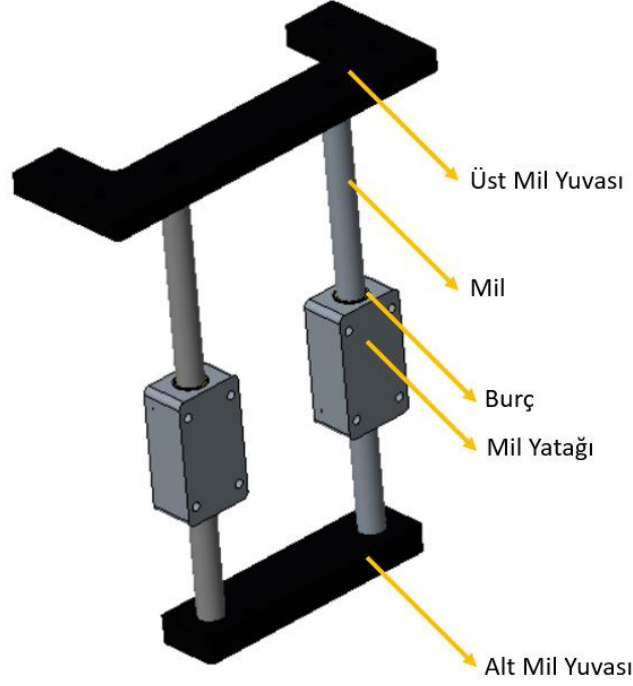
Bu kısımda rulman yuva parçası 6 adet M4 cıvata ile asıl hareketin sağlanmak istendiği hareketli çene parçasına bağlanarak hareket aktarılmış olur. Bu bölümden sonra oluşturulan ve aktarılan hareketin nasıl doğrusal hareket şeklinde yataklandığı anlatılacaktır.

Hareketli çene üzerine bağlanan iki adet mil yuvası ile yataklanmıştır. Mil yuvaları boydan boya açılmış delik ve hareketli çeneye bağlanmak için gerekli 4 cıvata deliğinden meydana gelmektedir.



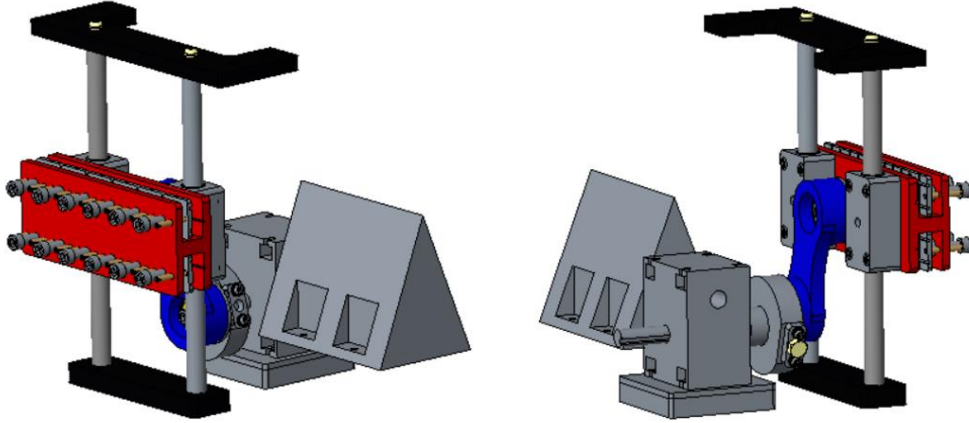
Şekil 4.8. Mil yuvası

Yukarıdaki resimde de görüldüğü üzere boydan boya açılmış deliğe iki taraftan 2 burç çakılmıştır. Bu burçların amacı hareket esnasında sürtünmeyi düşürmektir. Bununla beraber teflon kaplı burç kullanıldığı için sürekli yağlama ihtiyacı kalmamıştır. Doğrusal hareketlin yataklandığı bir diğer parça mil yuvasının kaydığı millerdir. Miller krom kaplı CK45 olarak hazır alınmıştır. Bu parçaların özelliği hazır olarak oldukça düşük toleransta(-0.020/-0.041 mm) piyasadan temin edilebilmeleridir. Hazır alınan bu millerin alınlarına birer cıvata deliği açılmıştır. Bu deliklerle alt mil yuvası ve üst mil yuvasına bağlanmıştır. Alt ve üst mil yuvaları yapı çeliğinden imal edilmiştir. İki mil arasındaki mesafe oldukça hassas olması gerekmektedir. Aksi durumda iki mil arasında açılı oluşacak ve çalışma esnasında kasmalara sebep olacaktır. Bu da cihaz ömrünü düşürecek ya da çalışmasına engel olacaktır. Burada tolerans verilirken mil ile burçlar arasındaki boşluk üzerinden bir hesap yapılması gereklidir. Mil ölçüsü üretici verilerine göre 19,980-19,959 mm arasında olması gerekmektedir. Burç iç çapı ise verilen ölçüye 20,02-20,04 arasında olması beklenmektedir. Bu durumda aralarındaki boşluk 0,04-0,081 mm arasında bir boşluk olacağı için alt üst mil yuvalarında millerin girdiği yuvalarında birbirine mesafelerinin toleransın mil ile burç boşluğuna uygun verilmiştir. Bu bölümde anlatılan parçaların yerleşimi Şekil 4.9’de verilmiştir.



Şekil 4.9. Mil yuvası-mil ilişkisi

Bu mekanizmanın bütün parçalarının tam montajı aşağıdaki resimde verilmiştir (Şekil 4.10).



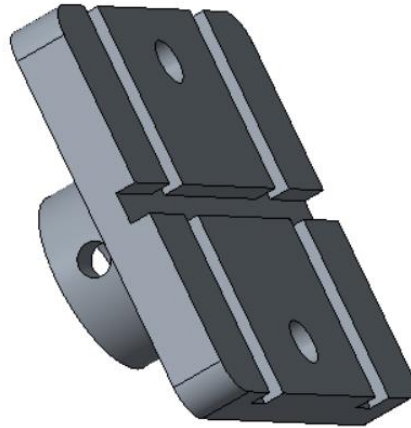
Şekil 4.10. Hareket mekanizması

4.1.1.2. Numune Tutma Mekanizması

Numune tutma mekanizmasının amacı standartlarda da belirtildiği gibi test süresi boyunca numuneleri bağlama konumlarında tutmaktır. Aynı zamanda numuneler sisteme bağlanırken kullanıcıya numuneleri merkezlemek için referans çizgileriyle yardımcı olmaktadır. 12 numunenin aynı anda bağlanabildiği bir sistem tasarlanmış ve bu şekilde bir sistem

oluşturulmuştur. Numune tutma mekanizmaları hareketli ve sabit çeneler üzerine bağlanmaktadır. Mümkün olduğu kadar kullanıcı kolaylığı sağlanmaya çalışılmıştır. Bir diğer önemli nokta da çalışma süreci boyunca tutma mekanizmasının geri açılmamasının sağlanmasıdır. Mekanizmanın alt parçaları aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

Kısa tırtıl parçası, numuneyi sabit ve hareketli çene üzerinde sıkıştıran parçadır. Numunenin x ve y ekseninde hareketini kısıtlamak için parça üzerinde 3 adet kanal açılmıştır (Şekil 4.11). Numunenin M10 civatanın yaptığı baskıyla bu kanallara kısmi de olsa girmesi beklenmektedir. Böylece numunenin test süresince ilk konumunu koruması sağlanmıştır. Test numunesinin ilk konumunu koruması oldukça önemlidir. Bu durum bozulduğunda testin amacı yerine getirilememiş olacaktır. Bunun önüne geçmek için gerekli tedbirler alınmıştır. Kısa tırtıl üzerine açılan kanallarla X ve Y yönündeki hareketi engellenmiş Z yönünde yani sıkıştırma yönündeki hareketinde olası bir gevşemenin önüne kauçuğun yapısıyla önüne geçilmiştir. Civatayla bastıkça kauçuk civatayı dişler üzerinde geri itecektir. Bu durumda yaygın olarak diş kitlemede kullanılan bir yöntemdir. Diş boşluğu üretim yapılırken de dar bırakılmıştır. Bu da sürtünmeyi artırarak gevşeme riskini düşürmek için kullanılmıştır. Bu durum test esnasında denenmiştir. Yapı çeliğinden CNC freze ile üretilmiştir.



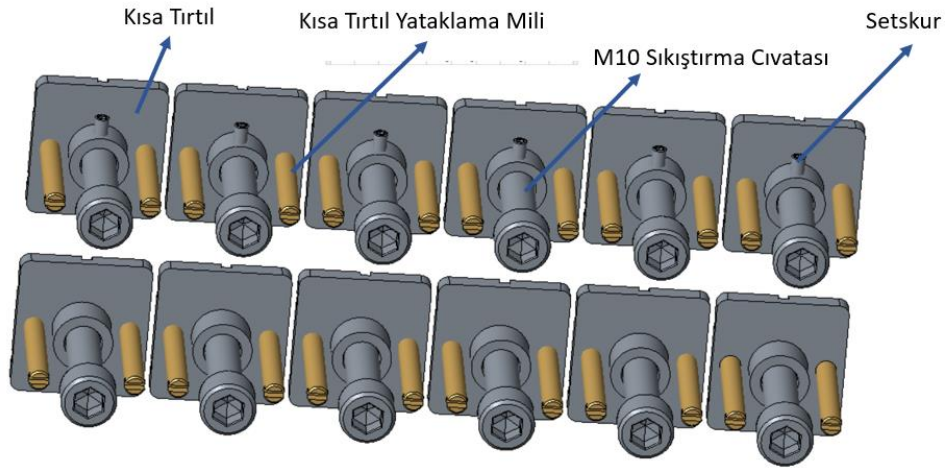
Şekil 4.11. Kısa tırtıl

Sabit ve hareketli çene üzerine kısa tırtıl çubuğu ile yataklanmıştır. M10 civata üzerine açılan lamba sayesinde kısa tırtıl çubuğu setskur civatayla M10 civataya doğrusal bağlanmıştır Şekil 4.12. Bu sayede kısa tırtıla doğrusal hareket yaptırılmıştır.



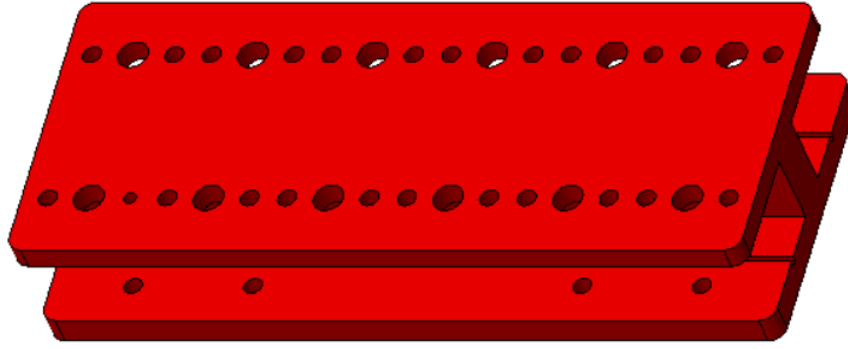
Şekil 4.12. M10 sıkıştırma cıvatası

Kısa tırtıl, kısa tırtıl yataklama milleri ve sıkıştırma cıvatası montaj modeli Şekil 4.13’de verilmiştir.



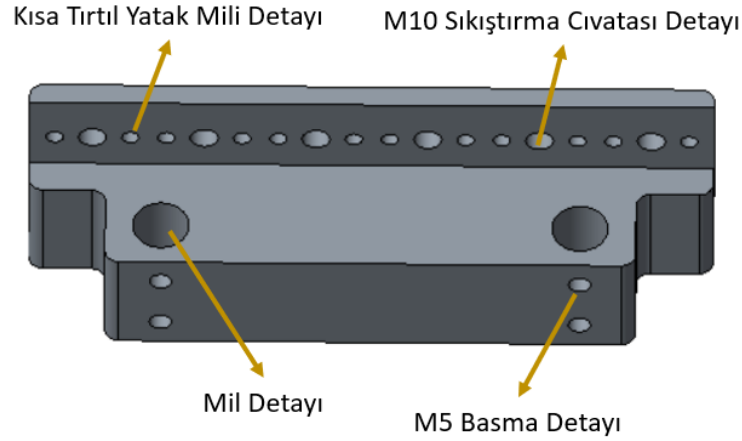
Şekil 4.13. Sıkıştırma mekanizması

Hareketli çene üzerine kısa tırtılların doğrusal hareketi için 24 adet, yataklama için 12 adet M10 basma cıvatası için delik açılmıştır. Hareketli çene modeli Şekil 4.14’de görülebilir.



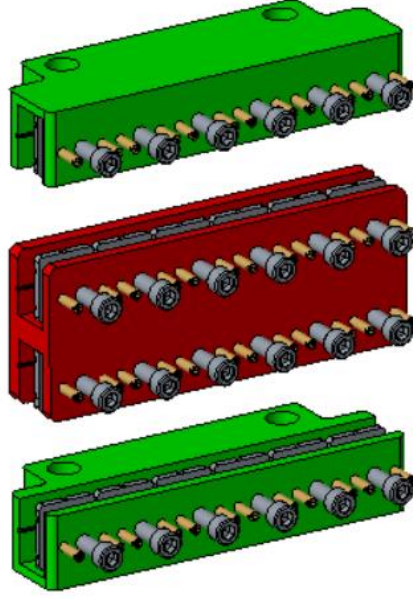
Şekil 4.14. Hareketli çene

Sabit çene kullanıcının test numunelerine göre boyu ayarlanabilir olarak tasarlanmıştır. Mil üzerinde konumlandırılabilir şekilde yapılmıştır. Bunun için mil çapına göre dar bir tolerans ile mile yerleştirilmiştir. Mil üzerinde sabitlenebilmesi için 4 adet M5 cıvata dişi açılmıştır. Cıvatalar sıkıldıkça mil ile parçayı sıkıştırılarak sabit kalmasını sağlamaktadır. Üzerinde 12 adet kısa pabuç yatak mili için, 6 adet de M10 sıkıştırma cıvatası için delik açılmıştır. Aşağıdaki Şekil 4.15’de söz edilen detaylar parça üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Sabit çene

Sabit çene ile bu mekanizmanın bütün parçaları detaylı olarak anlatılmış olmaktadır. Parçaların tamamının montaj hali aşağıdaki Şekil 4.16’de verilmiştir.



Şekil 4.16. Numune tutma mekanizması

4.1.1.3. Destek Parçaları

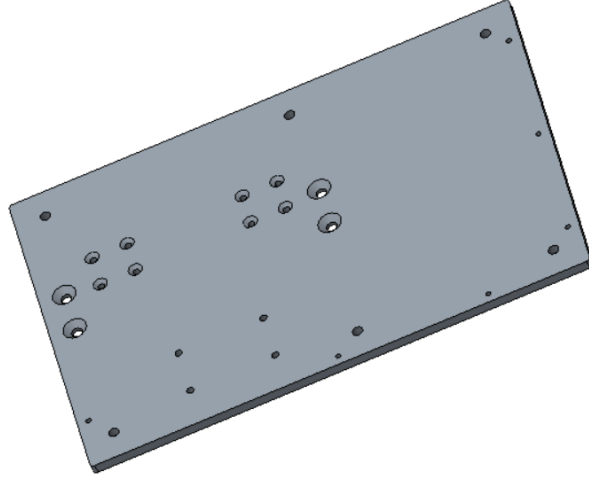
Destek parçalarının amacı sistemde çalışma sırasında oluşan titreşimi azaltmak, cihaz bütünlüğünü sağlamak ve sistemi dış etkilerden korumaktır. Bu alt bölümde kullanılan parçalar, sigma profiller, taban sacı, giydirme sacı, kapak, redüktör yükseltici ve ayaklardır.

Sigma profiller sistemin dikliğine destek olmak ve giydirme sacının montajı için kullanılmıştır. Piyasadan hazır olarak temin edilebilen alüminyum sigma profiller kullanılmıştır (Şekil 4.17).



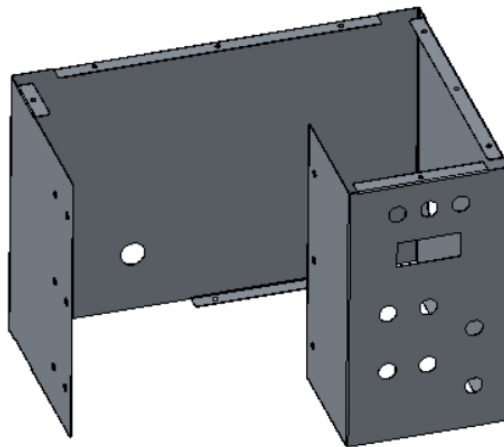
Şekil 4.17. Sigma profil

Taban plakasının kullanım amacı sistemi bir arada tutmaktır (Şekil 4.18). Yapı çeliğinden imal edilen bu yapı bütün sistemin montajlandığı parçadır. Sigma profil, alt mil tutucu, redüktör gibi parçalar taban plakasının üzerine bağlanarak sisteme montajlanmıştır.



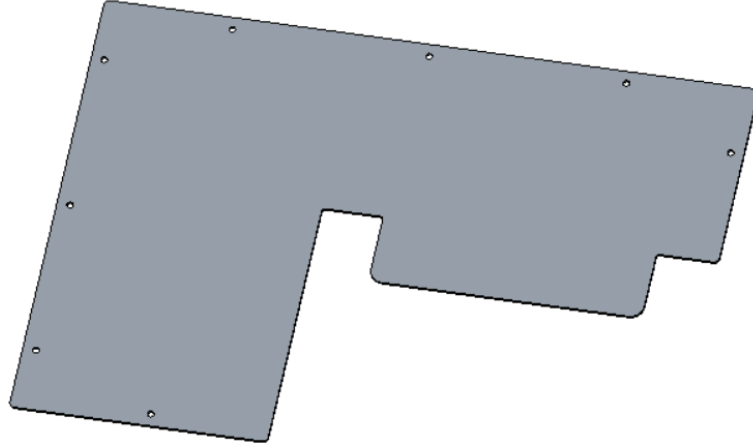
Şekil 4.18. Taban plakası

Giydirme sacı, elektronik parçaları dış etkilerden korumak için kullanılmıştır. Aynı zamanda sistemin bütünlüğüne ve görselliği için sisteme eklenmiştir. Bunun yanında butonlar, ekran, pako şalter gibi elemanlar da bu parça üzerine montajlanmıştır. 1 mm et kalınlığında ST 37 sacından yapılmıştır. Lazer kesim ve büküm yapılarak son şekline ulaşmıştır (Şekil 4.19).



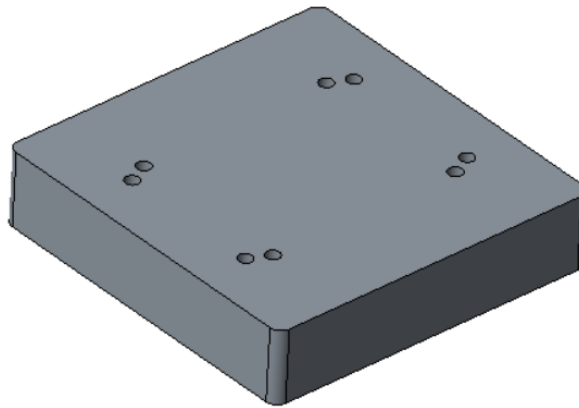
Şekil 4.19. Giydirme sacı

Kapak yine aynı şekilde giydirme sacının içinde kalan sisteme dışarıdan erişilmesi gerektiğinde kullanılmak üzere tasarlanıp imal ettirilmiştir. 1 mm ST 37 sacından lazer kesim yoluyla üretilmiştir. M4 cıvata kullanılarak giydirme sacına monte edilmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Kapak

Redüktör yükseltici parçası redüktörde çevrimden ötürü oluşan ısıyı taban plakasına aktararak uzaklaştırmak ve redüktörün yüksekliğini sisteme uygun olarak ayarlamak için sisteme eklenmiştir (Şekil 4.21). Alüminyumların ısı iletkenliği çeliklerin yaklaşık iki katı olduğu için malzeme olarak alüminyum 6061 seçilmiştir. CNC frezede üzerine 4 adet M6 cıvata redüktörü bağlamak için, 4 adet M6 cıvata ise redüktör yükseltici plakasının taban plakasına bağlamak için kullanılmıştır.



Şekil 4.21. Redüktör yükseltici

4.2. Elektronik Tasarım

Elektronik alt sistemiyle otomasyon ve kullanıcıya olan ihtiyacı azaltılmıştır. Motor kontrolü ve kullanıcı arayüzü olarak iki bölümden oluşmaktadır.

4.2.1. Motor Kontrol Bölümü

Motor kontrol bölümü ile kullanıcı arayüzünden gelen bilgiler ve sayaç sensöründen gelen bilgi sayesinde motor sürülmüştür. Motor kontrolü için 1 adet motor sürücüsü ve yazılımı yapılan BDK kullanılmıştır. BDK kartı tasarımı yapılarak Robelart firmasına baskısı yaptırılmıştır. BDK geldikten sonra üzerine bileşenleri lehimlenmiştir. Sonrasında motorun sürülmesi için yazılan yazılım karta yüklenmiştir. Kartın üzerine yerleştirilen işlemci ile işlemler yaptırılarak sistemin kontrolü sağlanmıştır.

Motor sürücüsü 0.25kW motor için güvenlik katsayısı da düşünülerek 0,55kW'lık bir motor sürücüsü seçilmiştir. Teknik özellikleri EK7'de verilmiştir. Omron marka olarak piyasadan temin edilmiştir (Şekil 4.22). Tek faz şebeke elektriğini motorun ihtiyacı olan 3 faza çevirmek için de motor sürücü kullanılmaktadır. Bunun yanında motor sürücünden hız kontrolü, yumuşak başlatma gibi konularında da faydalanılmıştır. Şebeke elektriğinden gelen dalga boyunun tepe noktası yakalandığında motor üzerinde yüksek gerilim oluşarak ömrünün kısılmasına sebep olmaktadır. Aynı şekilde hareketli parçalar üzerinde şok yaratacağı için sistemin ömrü için oldukça olumsuz bir durum, motor sürücünün yumuşak başlatma özelliği sayesinde önlenmiştir. Bu özellik aynı zamanda yumuşak durdurma olarak da kullanılarak sistemin ömür üzerinde olumsuz etkilerden korunmaya çalışılmıştır. Yalnız acil durdurma butonu için bu durum geçerli değildir. Acil durumda oluşabilecek yaralanmalara veya sistem hasarının önüne geçebilmek için kullanıcı acil durdurma butonuna bastığında akım doğrudan kesilerek motorun kendini frenlemesi sağlanmıştır. Bu işlemler yapılan yazılımla BDK'ya yüklenmiştir ve gelen sinyallerle de motor sürücüsü sürülmektedir.



Şekil 4.22. Omron-J1000 motor sürücüsü

BDK'ya yüklenen yazılım için tur sayacından gelen data ile kullanıcının sisteme girdiği tur sayısı yazılımın girdilerini oluşturmaktadır. Kullanıcı hedef tur sayısını girip testi başlattığında yazılım ve işlemci üzerinden her tur sayısı hedef tur sayısı ile kontrol edilir ve eş olmadığı durumda teste devam etmesi için motor sürücüsüne sinyal verilir. Yalnız iki sayı eşlendiği zaman yazılım işlemci aracılığıyla motoru durdurarak testi bitirir. Test esnası boyunca, yazılım tur sensöründen aldığı data ile kendi zaman sayacından aldığı datalar arasında kontrol yaparak motorun devir/dk ve tur sayacının çalışıp çalışmadığını kontrol etmektedir.

BDK MicroC for PIC ile programlanmıştır. Similasyon ve denemeleri Proteus 8.5 programı ile yapılmıştır. Tasarımı yapılan kart Robelart firması aracılığıyla ürettirilerek, kart üzerine bileşenler lehimlendikten sonra fonksiyon testleri yapılmıştır. Bu testler sonucunda kullanıcı kontrol bölümünde kullanılan butonların ve ekranın bunun yanında kartın motor sürücüsü ile olan işlemleri de denenmiştir.

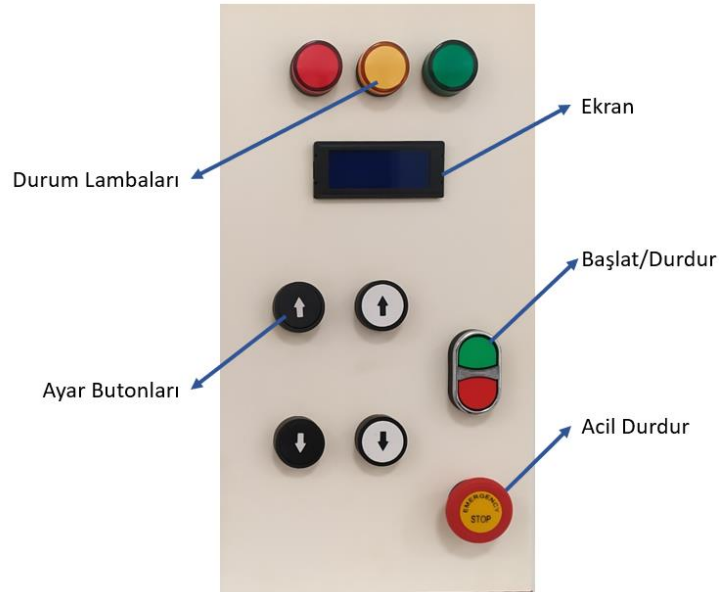
4.2.2. Kullanıcı Kontrol Bölümü

Demattia esnek çatlama test cihazı, bir ölçüm cihazı değil, bir test cihazıdır[2]. Asıl ölçülmek istenen kullanıcının hedef olarak belirlediği tur sayısında numunenin bu gerinime nasıl

karşılık verdiğidir. Bunun için kullanıcının test koşullarını belirlemesi ve gözlemleyebilmesi gerekmektedir.

Sistemin açılması için öncelikle sistemin güç girişini kontrol eden pako şalterin açılması gerekmektedir. Pako şalter açıldıktan sonra ilerleyen kısımda detaylı anlatılan butonlar ile tur sayısı ayarlanır ve test başlatma butonuna basılarak test başlatılır. Durdurma gerektiği zaman durdurma butonuna basılır. Devam edilmesi gerektiği zaman başlatma butonu ile teste devam edilir.

Mevcut ürünlerin kullanıcılarıyla olan iletişim sonucunda kullanıcıların tur sayıları 1000 000-5000 000 arasında değiştiği öğrenilmiştir. Bu sebeple en 7 rakamı aynı anda gösterebilecek bir ekrana ihtiyaç vardır. Girilen tur sayıları oldukça yüksek olduğu için kullanıcının tur sayısını arttırabilmesi için 2 buton (+1 milyon ve + 500 000), düşürebilmesi için de iki buton(-1 milyon, -500 000) kullanılmıştır. Girilen tur sayıları mavi ışıklı led ekran aracılığıyla görülebilir. Test başladıktan sonra sayaç sensöründen gelen data ile ekranda kalan tur sayısı düşmeye başlayacaktır. Kalan tur sayısı "0" olduğunda motor yavaşlatılarak durdurulur. Butonlar, ekran ve sistem üzerindeki yerleşimleri Şekil 4.23'de gösterilmiştir.

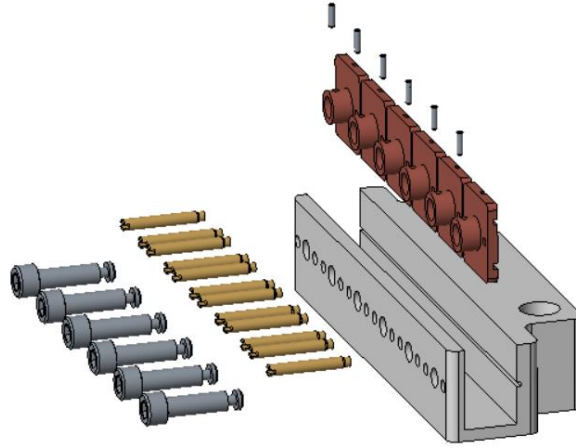


Şekil 4.23. Kontrol paneli

4.3. Demattia Esnek Çatlama Test Cihazı Montajı

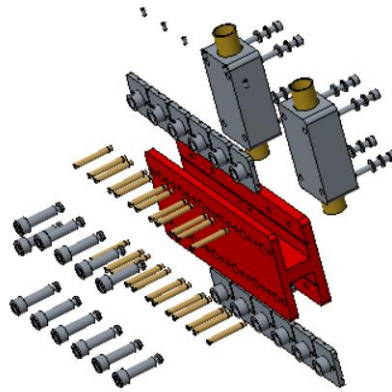
Montaj işlemi için parçalar alt montaj bütünleri olarak ayrı ayrı montajlanmaya başlamış ve bütüne gidilmiştir. Öncelikli olarak numune tutma parçaları ayrı olarak toplanmıştır. Bu parçaların montajı Şekil 4.24'da gösterildiği gibi sabit çene üzerine yerleştirilen kısa turtul

parçaları kısa tırtıl çubukları ile sabit çene üzerine yataklanmıştır. M10 sıkıştırma cıvatası sabit çene üzerindeki dişe geçirilerek kısa tırtıl parçası üzerindeki yuvaya kadar sıkılmıştır. Ardından M4 setskur cıvata ile kısa tırtıl ile M10 sıkıştırma cıvata bağlanmıştır.



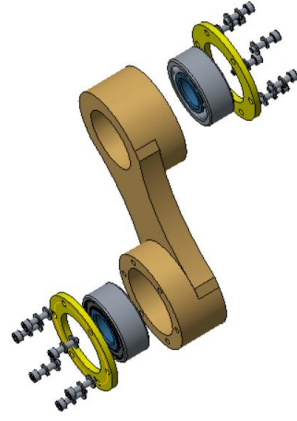
Şekil 4.24. Sıkıştırma mekanizması montajı-sabit çene

Hareketli çene üzerine sıkıştırma mekanizması parçalarının yerleşimi de sabit çenelerdekine benzer şekilde yapılmıştır. Bunun yanında mil yuvaları 8 adet M6 cıvata kullanılarak hareketli çene üzerine montajlanmıştır. Mil yuvaları içerisine EK 5’de özellikleri verilen burçlar çakılmıştır. Burada montaj Şekil 4.25’de gösterilmiştir.



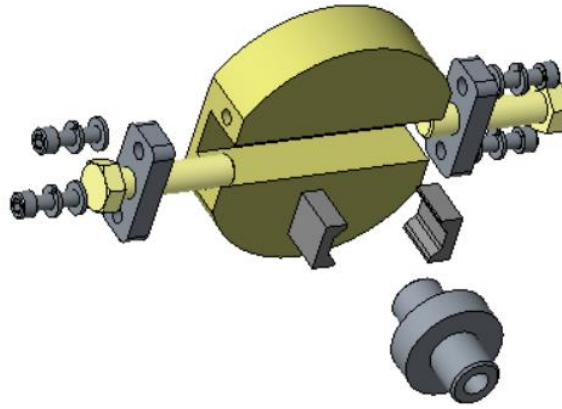
Şekil 4.25. Hareketli çene montajı

Bağlantı kolu üzerine yerleştirilen rulman ve rulman kapaklarının montaj ilişkisi Şekil 4.26’de gösterilmiştir. Bağlantı kolu üzerine rulmanlar sıkı geçirilmiş ardından üzerine kapakları yerleştirilmiş ve kapaklar M6 cıvatalar ile bağlantı koluna montajlanmıştır.



Şekil 4.26. Bağlantı kolu rulman montajı

Eksantrik şaft ile bağlantı mili arasındaki montaj ilişkisi Şekil 4.27’de gösterilmiştir. Eksantrik şaft üzerine şaft kapakları M6 cıvata kullanılarak montajlanmıştır. Ardından M12 cıvatalar şaft kapağına sıkılarak şaft pabuçlarıyla bağlama milinin konumu değiştirilerek eksantriklik ayarlanmıştır.



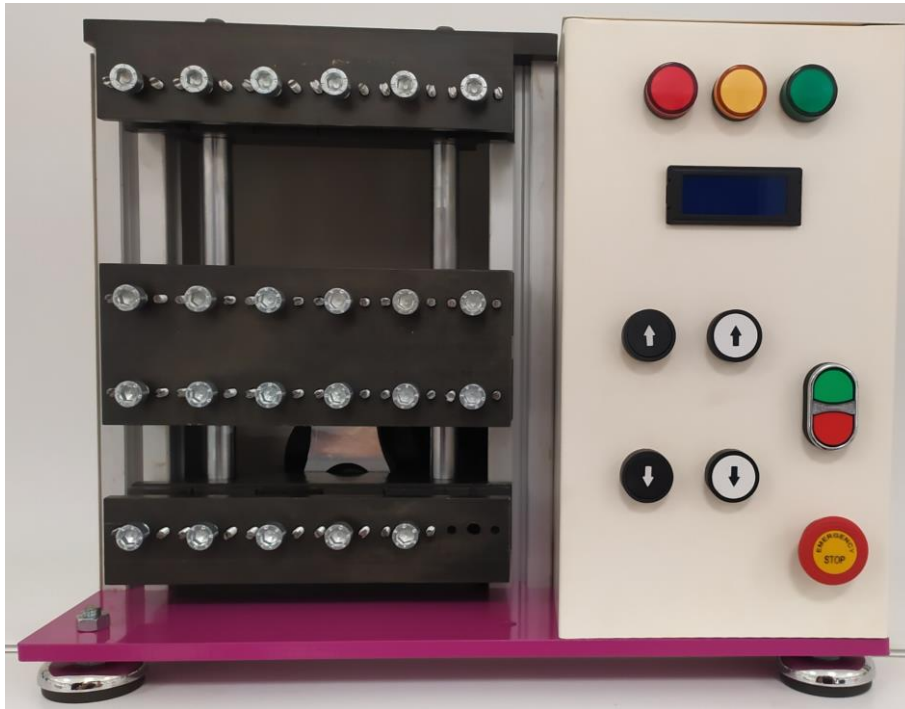
Şekil 4.27. Eksantrik şaft-bağlantı mili montajı

Alt montajlar yapıldıktan sonra mekanizma montajına geçilmiştir. Hareket mekanizmasının toplanması için alt mil yuvası üzerine miller yerleştirilmiştir. Ardından ilk sabit çene millerden geçirilerek takılmıştır. Daha sonra hareketli çene üzerine monte edilen mil yuvalarından millere geçirilmiştir. En son olarak da ikinci sabit çene kanalı aşağı bakacak şekilde millere geçirilmiştir. Ardından üst mil yuvası millerin üzerine takılarak cıvataları sıkılmıştır.

Bu aşamadan sonra sistemin montajına geçilmiştir. Öncelikli olarak ayaklar taban plakasına sıkılmıştır. Ardından hareket mekanizması taban plakasına cıvata ile sabitlenmiştir. Bu mekanizmayı desteklemek için kullanılan sigma profiller taban plakasına ve üst mil yuvasına cıvatalanmıştır. Bu işlemden sonra bağlantı kolu ile hareket mekanizmasının montajı yapılmıştır. Bağlantı kolu ile eksantrik şaft ve eksantrik şaft ile redüktör mili montajı yapılmıştır. Bu montajlardan sonra redüktör, redüktör yükselticinin tabana montajıyla redüktör yükselticinin üzerine montajlanmıştır.

Giydirme parçası takılmadan önce motor sürücü, BDK ve tur sensörünün montajı yapılmıştır. Daha sonra giydirme plakası taban sacına ve sigma profillere montajlanmıştır. Giydirme sacının üzerine ise butonların ve ekranın montajı ve BDK ile kablo bağlantıları yapılmıştır. Sistemin tamamının montajı tamamlandıktan sonra kapak parçası giydirme üzerine M4 cıvata kullanılarak montajlanmıştır.

Montajı tamamlanmış cihazın görselleri



Şekil 4.28. Cihaz ön görünüş



Şekil 4.29. Cihaz izometrik görüş

4.4. Hata Türleri ve Etkileri Analizi

Hata türlerinin analizi sistemin çalışmasını garanti altına almak ve oluşabilecek sorunlara karşı önceden önlem almak için kullanılan bir yöntemdir. Materyal ve Metod bölümünde sistem üzerinde görülebilecek hatalar listelenmiştir ve risk analizleri yapılmıştır. Bu bölümde ise detay tasarımda bu olası sorunlara karşı alınan önlemler anlatılmıştır.

Tablo 4.1. HTEA

İSTER	Birincil Sebep	Meydana Gelme Olasılığı	Şiddet	Keşfedilebilirlik	Risk	Hata Kodu
En az 6 numune bağlanabilmelidir. Tercihen 12 numune bağlanabilir olmalıdır.	Test esnasında numune tutucuların gevşemesi	3	6	4	72	1A
	Numunelerin yeterince sıkılmaması	3	6	4	72	1B
	Mekanizma kitlenmesi	1	3	1	3	1C
Her numune ayrı ayrı sıkıştırılabilmelidir.	Numunelerin üst üste gelmesi	3	6	1	18	2A

Bağlantı Kolu/Eksantriklik \geq 10	Eksantriklik \pm 10 mm'nin üstüne ayarlanabilir.	4	2	3	24	3A
Hareketli çene ve sabit çene arası en az 19 en çok 75,9 mm olmalıdır.	Sabit çene ayarı yapılmadan test yapılabilir.	4	3	4	48	4A
Zaman veya tur sayacı olmalıdır.	Tur sayacı doğru okuma yapmayabilir.	2	8	2	32	5A
Durdurulabilir ve devam ettirilebilir test düzeneği olmalıdır.	Durma esnasında elektrik giderse test sistemi başa dönebilir.	3	8	1	24	6A
Hareketli çene 300devir/dk sabit hıza sahip olmalıdır.	Devir hızı değişebilir.	1	10	10	100	7A
Ses seviyesi 70 dB'den az olmalıdır.	Beklenmedik titreşimler ses seviyesini arttırabilir.	3	4	5	60	8A
Cihaz boyutları laboratuvar şartlarına uygun olmalıdır.	Standart olmayan tezgâh	1	8	1	8	9A
Düşük elektrik tüketimi	Motora beklenenin üstünde yük gelebilir.	1	2	8	16	10A

Yukarıdaki tabloda verilen hata kodlarına göre alınan önlemler detaylı olarak bu bölümde verilmiştir.

1A: Test esnasında numunelerin gevşememesi için sıkıştırma civatasının dişleri dar açılmıştır. Bu da sürtünmeyi arttıracığı için civatanın gevşemesini zorlaştırmaktadır. Bunun yanında numunenin elastomer malzeme olması sebebiyle numune sıkıştıkça civata ekseninde geri gitmek isteyecektir. Bu da sürtünmeyi arttıran başka bir durumdur. Bu durum test esnasında da gözlemlenmiş ve meydana gelme olasılığının oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple meydana gelme olasılığı 1 olarak değiştirilmiştir.

1B: numunelerin yeterince sıkılmaması durumu tamamen kullanıcı kaynaklı bir sorun olabilir. Bunun için kullanıcının yapabileceği iki hata vardır: Standart dışı incelikte bir numune ile testi yapması veya sıkıştırma civatasını yeterince sıkmadan testi başlatması.

İki durum için de sistem üzerinde bir uyarı etiketi eklenmiştir. Bu durum kullanıcıya hatırlatılarak meydana gelme olasılığı azaltılmaya çalışılmıştır. Bunun yanında keşfedilebilirliği için de test sonunda numune kalınlığı ölçme prosedürü için uyarı eklenmiştir. Şiddet için bir çalışma yapılamamıştır. Bu uyarı etiketlerin çok büyük bir etkisi olacağı düşünülmeyişi için meydana gelme olasılığı: 2'ye keşfedilebilirliği: 3'e düşürülmüştür.

1C, 2A, 3A, 6A, 9A, 10A: Risk seviyesi çok düşük olduğu için bu konu için ek önlem alınmamıştır.

4A: Mil uzunluğu limitlendiği için kullanıcı istese de belli bir seviyenin üstünde sabit çeneleri açamayacağı için meydana gelme olasılığı düşürülmüştür. Bunun yanında teste başlamadan önce çeneler arası mesafe ölçümü yapılarak, keşfedilebilirlik de yükseltilmiştir. Bu sebeple meydana gelme olasılığı: 3'e, keşfedilebilirlik de 3'e düşürülmüştür.

5A, 7A: Yazılıma eklenen zaman sayacı ile tur sensöründen gelen data belli aralıklarla karşılaştırılarak, devir/dk kontrol edilmektedir. Bu sayede burada meydana gelebilecek bir hata sistem tarafından fark edileceği için keşfedilebilirliği 1'e indirilmiştir.

8A: Beklenmedik titreşimlerin oluşabileceği bölgelere titreşim takozları yerleştirilerek, bu titreşimler sönmülmüştür. Bu sebeple meydana gelme olasılığı ve şiddeti, 2'ye düşürülmüştür.

Bu iyileştirmelerden sonra risk puanları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 4.2. İyileştirme sonrası HTEA

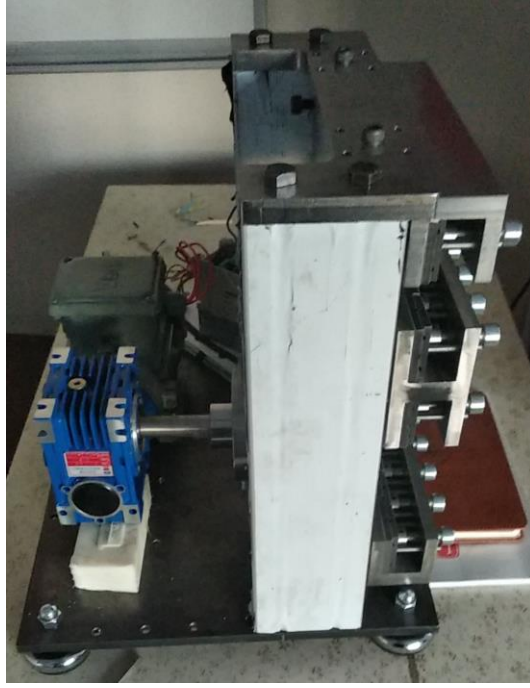
Hata Kodu	Meydana Gelme Olasılığı	Şiddet	Keşfedilebilirlik	Risk
1A	1	6	4	24
1B	2	6	3	36
1C	1	3	1	3
2A	3	6	1	18
3A	3	2	3	18
4A	3	3	3	27
5A	2	8	1	16
6A	3	8	1	24
7A	1	10	1	10
8A	2	2	5	20
9A	1	8	1	8
10A	1	2	8	16

Bu risk seviyeleri kabul edilebilir olarak değerlendirilmiştir. Bu sebeple bu sorunlar için daha fazla önlem alınmamıştır.

4.5. Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde sistemin numune bağlanmadan ve numune bağlanarak yapılan testlerinin sonuçları verilmiştir.

Numune bağlanmadan sistem 24 saat aralıksız olarak çalıştırılmış ve sistemin ileride çalışmasına engel olabilecek hatalar verip vermediği değerlendirilmiştir. Bunun için sistem çalıştırılmadan önce redüktör ve BDK üzerinden sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Mil çevresi, redüktör taban plakası bağlantısı bölgesi karşılaştırma yapabilmek için fotoğraf çekilmiştir. Numune sıkıştırma mekanizmasının hareketi kontrol edilebilmek için sıkıştırma civatası ile sabit çene arasındaki mesafe ölçülmüştür. Test için yapılan cihaz montajı Şekil 4.30'de verilmiştir.



Şekil 4.30. Test montajı

İlk 8 saatlik süreçte redüktörde ve BDK üzerinde belli bir ısınma tespit edilmiştir. Bunun yanında hareketli çenenin yatakladığı miller üzerinde burçların etrafında bir miktar yağ kalıntısı tespit edilmiştir. Numune tutma mekanizmasında bir miktar gevşeme gözlenmiştir. Ses seviyesi 71 dB olarak ölçülmüştür.

İlk 16 saat sonunda ilk 8 saatin sonunda redüktör ve BDK üzerinde yapılan sıcaklık ölçümlerinin üzerinde bir sıcaklık artışı olmadığı gözlemlenmiştir. Yağ kalıntısı kontrol edilmiş ve miktarında artış olmadığı gözlemlenmiştir. Numune tutma mekanizmasındaki gevşemede artış gözlemlenmiştir. Ses seviyesinde bir değişiklik olmamıştır.

İlk 16 saatin sonunda yapılan gözlemlerde 16 saatin sonundaki değerlerden tek değişenin numune tutma mekanizmasındaki gevşeme olduğu görülmüştür.

Yapılan ölçümler karşılaştırma fotoğrafları aşağıdaki Tablo 4.3'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 4.3. Numunesiz kontrol ölçümleri

	1. Saat	2. Saat	8. Saat	16. Saat	24. Saat
Redüktör Sıcaklığı	51°C	58°C	58°C	58°C	58°C
M10 Sıkıştırma Cıvatası Boyu	22,10 mm	22,10 mm	22,50 mm	23,00 mm	23,30 mm
BDK Sıcaklığı	42°C	44°C	44°C	44°C	44°C
Ses	71 dB	73 dB	73 dB	73 dB	73 dB

Numune bağlanmadan yapılan testler sonucunda redüktör sıcaklığı değerlendirmesi şu şekilde yapılmıştır:

Redüktör içerisinde bulunan bronz, pirinç veya çelik dişliler ve bunların arasındaki sürtünmeyi düşürmek için kullanılan yağ ile çalışmaktadır. Bu yapılar içerisinde sıcaklık değerleri en düşük olan yapı yağdır. Seçilen redüktör içindeki yağ için çalışma sıcaklığı 80°C olarak belirtilmiştir. Redüktör sıcaklığı bu değerin altında kaldığı için bu şekilde çalışma redüktör için güvenlidir. Bunun yanında sıcaklık 2. Saatin sonunda belirtilen değere ulaşmış ve Tablo 4.3 görüldüğü gibi diğer günlerde artmamıştır. Bu sebeple testin redüktör sıcaklığı için fazladan devam etmesine gerek yoktur, redüktör sıcaklığı için test 24. saatte bitirilmiştir.

BDK üzerinde akım düşüren elemanlar sebebiyle ısınmaktadır. Akım düşürülürken ortaya ısı çıkmaktadır. Bu ısının sistemden uzaklaştırılması için alüminyum finler yerleştirilmiştir. Test süresince bu finlerin görevini iyi yaptığı gözlemlenmiştir. BDK üzerindeki elemanlar için kritik sıcaklık değeri 80°C'dir. Sistem bu sıcaklığa yükselmediği için sistemin bu şekilde çalışmasında bir sorun yoktur. Çalışma süresi arttıkça sıcaklığın 44°C'de sabit kaldığı ve artmadığı gözlemlendiği için sistemin bu konu için daha fazla çalışmasına gerek duyulmamıştır. 24. saatin dolması beklenmiştir.

2.saatin sonunda miller çevresinde görülen yağ kalıntılarının sebebi araştırıldığında milin üretim aşamasında üzerinde bulunan ve sisteme bu şekilde takılmasından kaynaklı yağ olduğu tespit edilmiştir. Test sonunda miller sökülerek burçların durumu incelendiğinde burçların içerisinde bulunan teflon kaplamada herhangi bir bozulma meydana gelmediği görülmüştür. Bu sebeple bu sorunun yeniden oluşmayacağı düşünülerek tekrar test yapılmamıştır.

Ses seviyesi ölçümlerinde ise ön taraftan yapılan ölçümlerde ilk saatin sonunda 71 dB gelen ses seviyesi 2.saatten sonra 73dB’de sabitlenmiştir. Bu sebeple testin 24 saatten uzun tutulmasına gerek kalmamıştır.

Numune tutma mekanizmasındaki gevşeme ise beklenen bir durumdur. Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi numune olmadan çalıştırıldığında gevşemenin olabileceği tahmin edilmiştir. Bu problemin numune olduğunda gözlemlenmeyeceği düşünülerek numune bağlanarak teste geçilmiştir.

Numunelerin hazırlanması için standartlara uygun ölçüleri “Genel Bilgiler” Şekil 2.1. Kalıp ölçülerin’de verilen ölçülere göre yapı çeliğinden kalıp ürettirilmiştir. Hazırlanan kalıp ölçüleri dijital kumpas ile ölçülmüştür. Yapılan doğrulama ve kontrol işlemlerinden sonra numune temini için kalıp kauçuk üreticileriyle paylaşılmış ve numune temini sağlanmıştır. Elde edilen numunelerin yine ölçüleri kumpas ile, çentik çevresinin hatasız olması göz ile kontrol edilmiştir.

Numune kontrolü tamamlanmasıyla numunelerin test sistemine yerleşimine geçilmiştir. Öncelikle sıkıştırma cıvataları gevşetilerek numunelerin bağlanacağı yerler açılmıştır. Ardından redüktör mili çevrilerek hareketli ve sabit çeneler arası mesafe en geniş mesafeye getirilerek numuneler dikkatli bir şekilde sıkıştırma mekanizması aracılığıyla sisteme yerleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra redüktör mili çevrilerek üst taraftaki sabit çene ile hareketli çene arasında aynı şekilde numuneler yerleştirilmiştir. Özdeş 3 numune setinden 2 set olacak şekilde sisteme yerleştirilmiştir. Bütün sıkıştırma cıvataları kontrol edilmiştir. Numunelerin çentikleri dışa bakacak şekilde olduğundan ve numunelerin üst üste gelmediğinden emin olunmuştur. Numunelerin yerleşiminden sonra sistemin çalıştırılması aşamasına geçilmiştir.

Sistemi açmak için giydirme sacının üzerinde bulunan ve kırmızı gövdesi olan pako şalter çevrilerek açılmıştır. Ekranda test bilgilerinin girilmesi gereken ekran geldikten sonra 500 000 tur olacak şekilde butonlar yardımıyla sistem ayarlanmıştır. Sistemin çalışmasına engel olabilecek yabancı bir madde olmadığından emin olunduktan sonra sistem başlatma butonu ile başlatılmıştır.

Numuneler standartlara bağlı kalınarak sisteme bağlanmış ve en büyük çatlak boyları dijital kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.4. Aktaş Körük’den temin edilen ALDQ kodlu örneklerin test sonuçları

Numune Kodu	Referans Değeri		Test Sonucu					
			500k	1M	2M	5M	7,5M	10M
ALDQ-I	<2.000.000	Çatlak Derecesi	0	5	7	10	-	-
ALDQ-II			0	5	7	10	-	-
ALDQ-III			0	5	8	10	-	-

Aktaş Körük’ten temin edilen ALDQ numuneleri test makinesine bağlanarak yapılan test sonuçları Tablo 4.4’te verilmiştir. İlk 500 000 tur sonucunda sökülen numunelerde gözle görülen çatlak bulunmamaktadır. 1 milyon tur sonucunda numuneler söküldüğünde numunelerdeki en büyük çatlak boyutları sırasıyla 1,7;1,7 ve 2 mm’dir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2.1’ye göre değerlendirildiğinde çatlak dereceleri “5” çıkmaktadır. 2 milyon tur sonunda numuneler sökülerek yapılan ölçümlerde en büyük çatlak boyları 7;7;8 mm gelmektedir. Bu sonuçlar aynı tabloya bakılarak yapılan değerlendirmede çatlak dereceleri 7;7 ve 8 gelmektedir. 5 milyon tur sonucunda ise numunelerdeki en büyük çatlak boyunun 15 mm’den büyük geldiği görülerek teste devam edilmemiştir. Şekil 4.31’da test öncesi ve test sonrası çatlak oluşumunun görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.31. ALDQ kod’lu test numuneleri (sol: test öncesi, sağ: test sonrası)

Tablo 4.5. Aktaş Körük 'den temin edilen ALDS kodlu örneklerin test sonuçları

Numune Kodu	Referans Değeri		Test Sonucu					
			500k	1M	2M	5M	7,5M	10M
ALDS-I	>5.000.000	Çatlak Derecesi	0	0	0	1	1	1
ALDS-II			0	0	0	1	1	1
ALDS-III			0	0	0	1	1	1

Aktaş Körük'ten temin edilen ALDS kodlu numuneleri test makinesine bağlanarak yapılan test sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir. İlk 500.000, 1 milyon ve 2 milyon tur sonucunda sökülen numunelerde gözle görülen çatlak bulunmamaktadır. 5 milyon tur sonucunda numuneler söküldüğünde numunelerdeki çatlak boyutları gözle görülemeyecek kadar küçük yalnızca elle dokununca fark edilecek seviyededir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2.1'ye göre değerlendirildiğinde sayıları 10'dan az olduğu için çatlak dereceleri "1" olarak değerlendirilmiştir. 7,5 milyon tur sayısına ulaşıldığında çatlak sayısında ve boyutunda bir değişiklik görülmemiştir. Test 10 milyona tur sayısına kadar devam edilmiş ve çatlak boyutu ve sayısında değişim olmadığı için test bitirilmiştir. Şekil 4.32'de test öncesi ve çatlak oluştuğu zamanın fotoğrafı paylaşılmıştır.



Şekil 4.32. ALDS numuneleri (sol test öncesi, sağ test sonrası)

Tablo 4.6. NR MT60 test sonuçları

Numune Kodu	Referans Değeri		Test Sonucu					
			500k	1M	2M	5M	7,5M	10M
NR MT60-I	-	Çatlak Derecesi	3	7	10	-	-	-
NR MT60-II			3	7	10	-	-	-
NR MT60-III			3	7	10	-	-	-

Babacan Kauçuk'la yapılan işbirliği ile hazırlanan ve NR MT60 olarak isimlendirilen elastomerin geliştirilen cihaza bağlanarak yapılan testleri sonucunda elde edilen değerler Tablo 4.6'te verilmiştir. İlk 500.000, tur sonucunda sökülen numunelerde 1 mm'den küçük çatlaklar bulunmamaktadır. 1 milyon tur sonucunda numuneler söküldüğünde numunelerdeki en büyük çatlak boyutları 5 ila 8 mm arasında olduğu görülmüştür. 5 milyon tur sonucunda numuneler neredeyse kopma noktasına geldiği ve çatlak boyları 15 mm'yi geçtiği için derece 10 olarak değerlendirilmiştir. Bu sebeple teste devam edilmemiştir.



Şekil 4.33. NR MT50 numuneleri (sol test öncesi, sağ test sonrası)

Yürütülen bu çalışmaların sonunda tasarlanan, üretimi yapılan ve doğrulanan ilk yerli ve milli Demattia-Esnek Çatlama Test Cihazının seri üretim aşamasına geçilebileceğini göstermiştir.

5. TOPLU SONUÇLAR

- Yapılan tez çalışması sonunda elastomerlerin kullanım yerlerine bağlı olarak dinamik koşullarda ömür testi yapabilen bir Demattia-Esnek çatlama test cihazı yapılmaya çalışılmıştır.
- Geliştirilen test cihazı için uluslararası standartlar ve piyasada bulunan muadil ürünler incelenmiştir. İncelenen standartlarla cihazın standardize özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra muadil ürünlerin bu isterleri nasıl karşıladığı, olumlu ve olumsuz yönleri incelenmiştir. Olumsuz yönlerin nasıl giderilebileceği, olumlu yönlerin nasıl geliştirilebileceği üzerine çalışılmış ve kavramsal çözümler hazırlanmıştır.
- Bir sonraki aşamada, kavramsal çözümler birbiriyle kıyaslanarak optimum çözüm için detay çalışmaya geçilmiştir. Bu aşamada kullanılacak endüstriyel raf ürünleri seçimi yapılmış ve amaçlar üzerine seçimleri yapılmıştır. 3 boyutlu katı modeli hazırlanan mekanik parçalar üretilmiş, elektronik bileşenler için baskı devre kartı şematiği hazırlanarak ürettirilmiştir.
- Temin edilen parçalar uygun şekilde birleştirilerek alt sistemler olarak toplanmış ve belirlenen amaçlara uygun şekilde çalıştıkları sorgulanmış ve testler yapılmıştır. Alt sistem testleri tamamlandıktan sonra sistemin testine geçilmiştir. Belirlenen kriterlerin karşılanıp karşılanamayacağı test edilmiştir.
- Elde edilen sonuçlarla numuneli olarak test edilebilecek duruma geldikten sonra, ömür testi yapılabilecek numuneler temin edilmeye çalışılmıştır. Numune temini için Aktaş Körük ve Babacan Kauçuk firmasının destekleriyle kloropren ve doğal kauçuk esaslı numuneler temin edilmiştir. 3 farklı tip numune için ömür testi yapılmıştır. Numuneli olarak 10 milyon tura kadar test yapılmış ve sonuçları standartlara uygun bir şekilde çatlak derecesine göre sınıflanmıştır.
- Ömür testi sonuçlarının değerlendirilmesi hamur bazlı olarak anlamlı olabilmektedir. Test edilen numuneler aynı hamurdan alınsa bile farklı çatlak ömrü değerleri elde edilebilmektedir. Bu sebeple sonuçlar aslında aynı hamurdan alınan farklı numuneler ile bile kıyaslanamamaktadır. Burada karşımıza çıkan en önemli sebep heterojenliktir. Hamurların iyi hazırlanmaması durumunda bağların zayıf olduğu noktalarda stres birikmesi meydana gelmekte bu da zamanla çatlaklara sebep olmaktadır. Çatlakların uçlarında ise stres, alan azalmasından ötürü daha da artmaktadır. Bu da ilk çatlaktan sonra çatlakların daha hızlı büyümesini açıklamaktadır.

- Ömür testinde bulunan bir diğer anlamlı değer ise ALDS kod'lu numunelerinde neredeyse hiç çatlak oluşmaması durumudur. Bunun iki farklı açıklaması olacağı değerlendirilmiştir. Birincisi test sisteminde oluşturulan dinamik gerilim hiçbir zaman ALDS kodlu örnekler üzerinde yeterli gerinimin oluşturamadığı için stres birikmesi olmadığı için dinamik yorulma için ideal koşullarda sonsuz ömürlü olduğudur. Diğer önerme ise ALDS örnekleri için oluşturulan bağlar gerçekten yapılan test koşullarına dayanıklıdır. Bu önermelerin doğrulanması için ALDS numuneleri, cihaz üzerinden eksantriklik artırılarak yeniden test edilebilir. Bu durumda erken yırtılması durumunda ilk önerme haklı çıkacaktır.
- Yapılan test cihazı üzerinde testler sonucunda mekanik ve elektronik yıpranmalar değerlendirilmiştir. Sistem testlerin tamamlanabilmesi için yaklaşık 24 gün boyunca aralıksız çalıştırılmıştır. Bu çalışma frekansına dayanabilmesi ve ileriki süreçlerde ne sıklıkla arıza verme durumunun oluşması değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerle birlikte tasarım aşamasında yapılan hesaplamalar da doğrulanmaya çalışılmıştır.
- İlk bakılan yerler hareketin aktarıldığı, üretildiği ve yataklandığı parçalardır. Bu sebeple motor ve redüktör seçiminin yerinde olduğu ve uzun bir süre sorunsuz çalışacağı görülmüştür. Hareketi aktarmak için kullanılan rulmanların durumu kontrol edildiğinde beklenenden fazla kirlenme olduğu görülmüştür. Bunun üç sebebi olduğu düşünülmektedir. Bunlardan birincisi testi yapılan numunelerden kopan parçaların sürekli hareket olan parçaların bir kısmına tutunarak kirlenme yaptırmasıdır. İkinci sebep ise milleri yataklamak için seçilen teflon kaplı burçların zaman içerisinde ortama toz attığının görülmesidir. Bu tozlar yine rulmanlar üzerinde kirlenme yapmaktadır. Üçüncü sebep olarak testlere kaplama ve boya öncesi yapılması sebebiyle parçalarda oluşan pasın statik elektrikleşen rulman bilyeleri üzerine yapışması oluşmasının sebep olduğu düşünülmüştür. Bu etkilere önlem olarak burçların teflon kaplı pirinç burçlar yerine çelik burçlarla değiştirilmesi, parçaların kaplama ve boya yaptırılarak teste başlanması ve rulmanların en azından plastik kapaklı olarak seçilmesi ile önlem alınması düşünülmüştür.
- Tez çıktısı olan Demattia-Esnek Çatlama Test cihazı ile üniversitemiz ve ülkemiz için yerli imkanlarla muadillerine göre üstünlükleri olan bir cihaz üretilmiştir.

6. KAYNAKÇA

- [1] W. V. Mars, A. Fatemi, Fatigue crack nucleation and growth in filled natural rubber, *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.* 26 (2003) 779–789. <https://doi.org/10.1046/j.1460-2695.2003.00678.x>.
- [2] ASTM D430-95, Standard Test Methods for Rubber Deterioration Dynamic Fatigue, 2000. <https://doi.org/10.1520/D0430-06R18.2>.
- [3] N. Roche, L. Perier, Influence of elastomers formulation on fatigue crack growth properties, *Procedia Eng.* 66 (2013) 705–712. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.12.124>.
- [4] J. Schieppati, B. Schritteser, A. Wondracek, S. Robin, A. Holzner, G. Pinter, Impact of temperature on the fatigue and crack growth behavior of rubbers, *Procedia Struct. Integr.* 13 (2018) 642–647. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.12.106>.
- [5] J.R. Beatty, Fatigue of Rubber, *Rubber Chem. Technol.* 37 (1964) 1341–1364. <https://doi.org/10.5254/1.3540402>.
- [6] A. Angioletti, *Rubber Chem Technol*, 29. baskı, 1956.
- [7] Y. Karadeniz, Yanıt Yüzey Metodolojisiyle Kloropren Kauçuk Vulkanizasyon Karakteristiklerinin ve Mekanik Özelliklerinin En İyilenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2019.
- [8] S. Çavdar, EFFECT OF DIFFERENT COMPOSITIONS ON RHEOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF EPDM RUBBER, MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY, 2007.
- [9] W. Hofmann, *Rubber Technology Handbook*, Hanser Publishers, Germany, 1980.
- [10] W. Rodgers, B., Waddell, W., H., Solis, S., Klingensmith, *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, (2001).
- [11] Kauçuk Derneği, *Elastomer Teknolojisi-2 Temel Elastomerler*, Kauçuk Derneği Yayınları. (1988).
- [12] P. Ciullo, N. Hewitt, *The Rubber Formulary*, Noyes Publications, New York, U.S.A, 1999.
- [13] R.B. Simpson, *Rubber Basics*, Rapra Technology, 2002. <https://books.google.com.tr/books?id=sp0UpURKUV8C>.
- [14] A.A. Al-Quraishi, *The Deformation and Fracture Energy of Natural Rubber Under High Strain Rates*, The Graduate Faculty of the University of Akron, 2007.
- [15] V. Vahapoğlu, Kauçuk türü malzemeler II. sentetik kauçuk, *KSÜ. Fen ve Mühendislik Derg.* 9(1) (2006) 44–55.
- [16] H. Desai, K.G. Hendrikse, D. Woolard, C., Vulcanization of polychloroprene rubber. I. A revised cationic mechanism for ZnO crosslinking, *J. Appl. Polym. Sci.* 105 (2007) 865–876.
- [17] J.E. Mark, B. Erman, F.R. Eirich, *Science and Technology of Rubber*, Third Edit, Elsevier Academic Press, USA, 2005.
- [18] G.B. Kauffman, S.W. Mason, R.B. Seymour, Happy and unhappy balls: neoprene and polynorbornene, *J. Chem. Educ.* 67, 3 (1990) 198–199.
- [19] S.R. Scagliusi, S.G. Araújo, L. Landini, A.B. Lugão, Study of properties of chloroprene rubber devulcanizate by radiation in microwave, içinde: *Int. Nucl. Atl. Conf.*, Rio de Janeiro, Brazil, 2009.
- [20] M. Sugano, M. Tsubosaka, S. Shimizu, M. Fujita, T. Fukumoto, K. Hirano, K. Mashimo, Dechlorination of chloropren rubber by coliquefaction with natural rubber containing zinc oxide, *Energy and Fuels.* 22, 3 (2008) 1986–1990.
- [21] P.D. Sethu, *Studies On The Formulation and Mechanical and Dynamic Properties of*

- Natural Rubber/Chloroprene Rubber Blend for Rubber Bushing Application, Universiti Sains Malaysia, 2006.
- [22] A. Babapour, Doğal Kauçuk/Bütadien Kauçuk Esaslı Silecek Lastiği Malzemelerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Hacettepe Üniversitesi, 2013.
- [23] B. Likozar, M. Krajnc, Kinetic and Heat Transfer Modeling of Rubber Blends' Sulfur Vulcanization with N-t-Butylbenzothiazole-sulfenamide and N,N-Di-t-butylbenzothiazole-sulfenamide, *J. Appl. Polym. Sci.* 103 (2007) 293–307.
- [24] Kauçuk Derneği, Elastomer Teknolojisi-1, Kauçuk Derneği Yayınları. (1988).
- [25] S.S. Choi, Influence of Rubber Composition on Change of Crosslink Density of Rubber Vulcanizates with EV Cure System by Thermal Aging, *J. Appl. Polym. Sci.* 75 (2000) 1378–1384.
- [26] V. Sekkar, K.J. Narayanaswamy, K. Scariah, P.R. Nair, K.S. Sastri, H.G. Ang, Evaluation by Various Experimental Approaches of the Crosslink Density of Urethane Networks Based on Hydroxyl-Terminated Polybutadiene, *J. Appl. Polym. Sci.* 103 (2007) 3129–3133.
- [27] T.H. Khang, Z.M. Ariff, Vulcanization kinetics study of natural rubber Compounds having different formulation variables, *J. Therm. Anal. Calorim.* 109, 3 (2012) 1545–1553.
- [28] B. Kuriakose, V.S. Vinod, V. S., R. Alex, Effect of aluminum powder on filled natural rubber composites, *Rubber Chem. Technol.* 2 (2001) 236–248.
- [29] F. Bueche, Molecular basis for the mullins effect, *J. Appl. Polym. Sci.* 4 (1960) 107–114. <https://doi.org/doi:10.1002/app.1960.070041017>.
- [30] ASTM D1765-04, Standard Classification System for Carbon Black Used in Rubber Products, 2004.
- [31] M. Ben-Daya, Failure mode and effect analysis, *Handb. Maint. Manag. Eng.* (2009) 75–90. https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0_4.
- [32] F. Jensen, Reliability, availability, and maintainability (RAM) dictionary, edited by Tracy P. Omdahl, ASQC quality press, 1988. number of pages: 360. *Qual. Reliab. Eng. Int.* 5 (1989) 250. <https://doi.org/doi:10.1002/qre.4680050314>.

EKLER

EK 1 – Rulman Katalog Bilgileri- FAG2204

SCHAEFFLER

Oynak Bilyalı Rulmanlar 2204-2RS-TVH (Seri 22.-2RS)

Ana ölçüler DIN630'a göre, iki tarafta dudaklı keçe

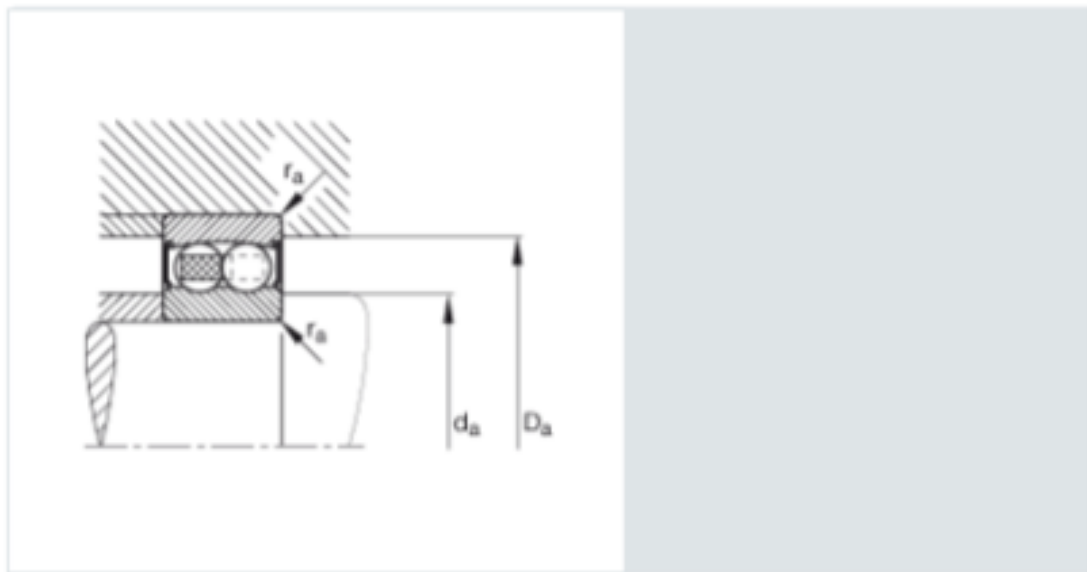
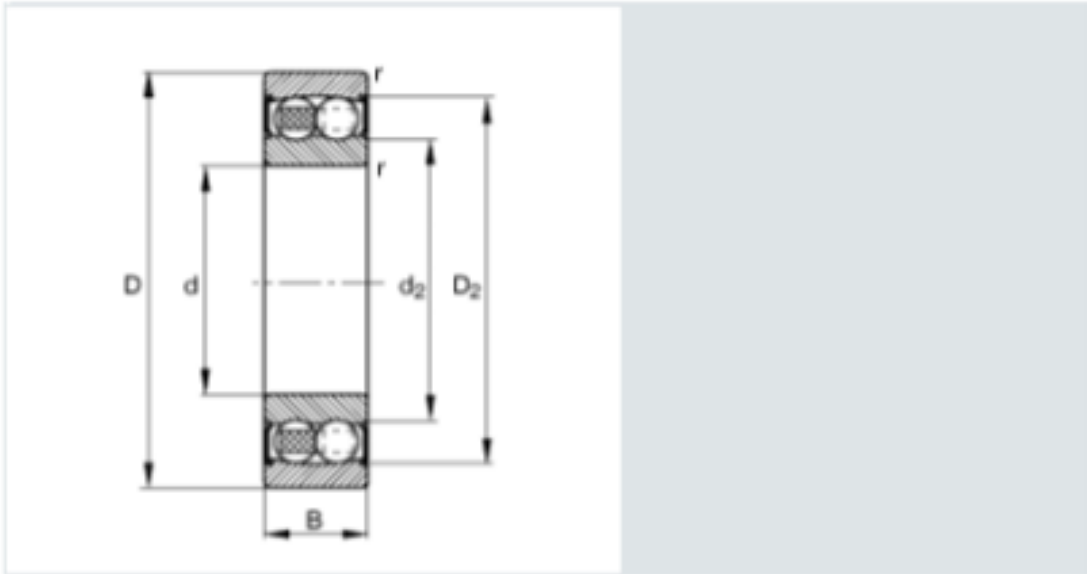
Bilgi dosyası seçilen ürünün ölçüleri ve yük kapasiteleri hakkında bilgi verir. Lütfen bu sayfalarda belirtilen tavsiyeleri dikkate alınız. Daha fazla bilgiyi "Açıklama" menüsünde bulabilirsiniz. Ayrıca daha fazla bilgiyi katalog seçimi kısmından (https://www.schaeffler.de/content.schaeffler.de/en/news_media/index.jsp) veya +49 (91 32) 82 - 28 97 nolu telefondan edinebilirsiniz.

d	20 mm	
D	47 mm	
B	18 mm	
Dz	41 mm	
dz	25,8 mm	
Da max	41,4 mm	
da min	25,6 mm	
ra max	1 mm	
rmin	1 mm	
m	0,151 kg	Ağırlık
Cr	10100 N	Dinamik yük katsayısı, radyal

11.01.2020 10:33

1

C_{or}	2600 N	Statik yük katsayısı, radyal
C_{ur}	166 N	Yorulma yük limiti, radyal
n_0	9400 1/min	Limit devir sayısı
e	0,28	
Y_1	2,24	
Y_2	3,46	
Y_0	2,34	


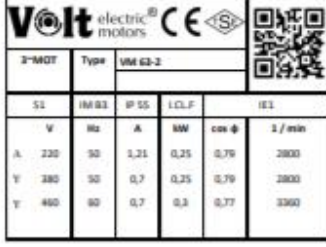
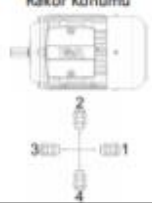
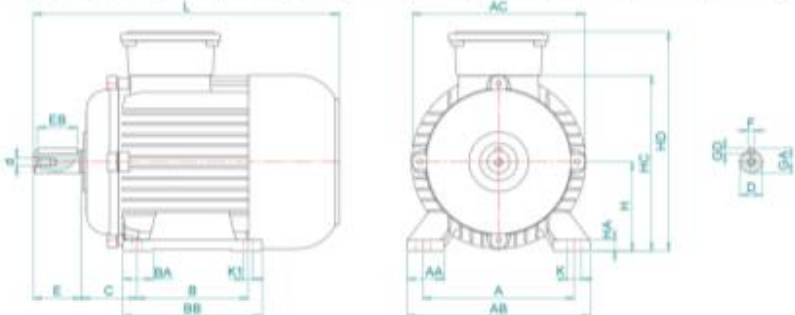


EK 2 – Rulman Katalog Bilgileri-ORS62204



Rulman Tipi	Rulman Boyutları				Yük Taşıma Kapasitesi		Hız Limitleri		
	d	D	B	rmin	CISO	C0 ISO	Termal Referans	Gres	Yağ
	(mm)				(kN)		ng (dev/dk)		
62204	20	47	18	1	12,79	6,58	16 000	17 000	20 000

EK 3 – Motor Teknik Özellikler Tablosu

		TEKNİK BİLGİLER Üç Fazlı İndüksiyon Motoru-Sincap Kafesli													
				GENEL BİLGİLER											
Tip	V1EA63M2BB3	Verimlilik Sınıfı	IE1												
Pout [kW]	0,25	Titreşim Sınıfı	A												
Devir [d/d]	2800	Ağırlık [kg]													
Gövde	63M	Koruma Sınıfı	IP55												
Akım [A]	1,21	Soğutma Tipi	IC 411												
cos φ	0,79	İzolasyon Tipi	F												
Dönüş Yönü	SY-SYA	Sıcaklık Sınıfı	B												
Çalışma Tipi	S1	Yapı Tipi	IM B3												
Ortam Sıcaklığı [°C]	-20...+40	Çalışma Yüksekliği [m]	1000												
															
ELEKTRİK BİLGİLERİ (ÖLÇÜM VERİLERİ)															
V1	%Yük	T [Nm]	I [A]	rpm	P2 [W]	cos φ	Verimlilik	Hz							
220	100	0,85	1,21	2800	250	0,79	54,6	50							
Kalkış Akımı	Ia [A]	3,6	Devrilme Momenti	Mk [Nm]	2										
	Ia / In	2,98		Mk / Mn	2,35										
Kalkış Torku	Ma [Nm]	2,7	Boşta Çalışma Akımı	[A]	0,49										
	Ma / Mn	3,17	Boşta Çalışma Gücü	[W]	71,4										
MEKANİK BİLGİLER															
Ön Rulman	6201-ZZ	Ses Basıncı - 50 Hz - dB[B]	80												
Arka Rulman	6201-ZZ	Ses Basıncı - 60 Hz - dB[B]	87												
Sabit Yatak	-	Gövde Malzemesi	Alüminyum												
Yağlama	-	Ön Kapak Malzemesi	Alüminyum												
Gres Miktarı	-	Klemens Kutu Malzemesi	Polyamid												
Gres Tipi	-	Rakor Tipi	PG 11												
Kama	4*4*16	Rakor Konumu	4												
Balans	G 1,6 Yarım Kama														
MEKANİK ÖLÇÜLER															
A	AA	AB	AC	AD	B	B'	BA	BB	C	D	d	E	EB	F	GA
100	26	23	125	-	80	-	23	100	40	11	M4	23	16	4	12,5
GD	H	HA	HC	HD	K	K1	L	LA	LB	M	N	P	S	S1	T
4	63	7	113	160,5	7	7	205,2	-	-	-	-	-	-	-	-
															
Kazım Karabekir Cad. No:84 Kemalpaşa 35735 İzmir/Türkiye Tel: +90 (232) 877 10 60 (pbx) Fax: +90 (232) 877 10 59 Email: info@voltmotor.com.tr www.voltmotor.com.tr Volt Motor bildirim yapmaksızın tüm verileri de@istirme hakkına sahiptir.															

EK 4 – Bronz Burç

Teknik Özellikler

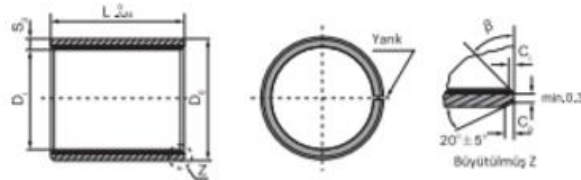
Maksimum Yük	Statik	250 N/mm ²
	Düşük hız	140 N/mm ²
	Salınım titreşim	60 N/mm ²
Maks. PV değeri (yağlamasız)	Kısa süreli	3.6 N/mm ² ·m/s
	Sürekli	1.8 N/mm ² ·m/s
Isı aralığı		-200°C~+280°C
Sürtünme katsayısı		0.02~0.20 μ
Maksimum hız	Yağlamasız	2.5 m/s
	Hidrodinamik	5 m/s
Isı iletkenliği		42 W(m·k) ⁻¹
Isıl genleşme katsayısı		11×10 ⁻⁶ ·K ⁻¹

Yukarıdaki değerler çalışma şartlarına göre farklılık gösterebilir.

TRA
TECHNYMON

TRA 010

Kendinden Yağlamalı Silindirik Burçlar Ölçü ve Toleransları



İç ve Dış pahtılar

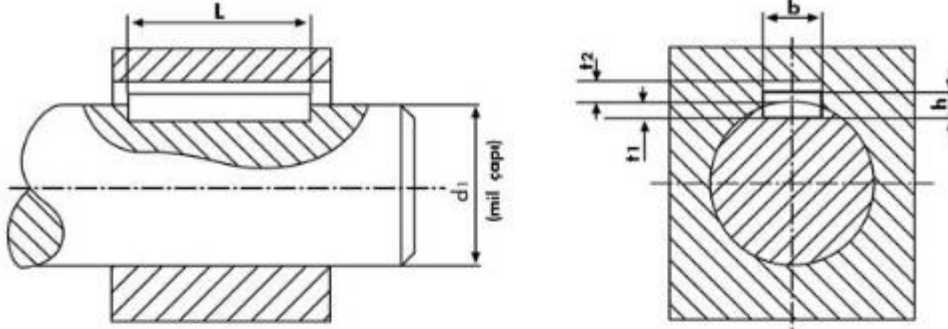
S ₁	C ₁	C ₂	β	S ₁	C ₁	C ₂	β
0,75	0,2 x 0,3	0,25 x 0,2	30° x 5°	2,25	1,2 x 0,4	0,50 x 0,3	30° x 5°
1,00	0,2 x 0,3	0,20 x 0,2	30° x 5°	2,50	1,5 x 0,5	0,50 x 0,3	45° x 5°
1,50	0,2 x 0,3	0,20 x 0,3	30° x 5°				

Birim: mm

(F7) M1 D ₁	(H7) Yuva D ₂	Dış Çap Toleransı D ₀	Montaj sonrası İç Çap D ₀	Boşluk D ₂	Duvar Kalınlığı S ₁	L _{0,4} (±0,028 L±0,30) D _{0,4} (±0,038 L±0,30)												
						6	8	10	12	15	20	25	30	40	50			
6	+0,010 -0,022	8	+0,055 +0,025	8,255 5,990	0,077 0,030	0606	0608	0610										
8	+0,013 -0,028	10	+0,055 +0,025	8,255 7,990	0,083 0,033	0806	0808	0810	0812	0815								
10	+0,013 -0,028	12	+0,055 +0,030	10,055 9,990	0,086 0,033	1006	1008	1010	1012	1015	1020							
12	+0,016 -0,034	14	+0,055 +0,030	12,055 11,990		1206	1208	1210	1212	1215	1220	1225						
13	+0,016 -0,034	15	+0,055 +0,030	13,055 12,990				1310	1312	1315	1320	1325						
14	+0,016 -0,034	16	+0,055 +0,030	14,055 13,990	0,092 0,036			1410	1412	1415	1420	1425						
15	+0,016 -0,034	17	+0,055 +0,030	15,055 14,990				1510	1512	1515	1520	1525						
16	+0,016 -0,034	18	+0,055 +0,030	16,055 15,990				1610	1612	1615	1620	1625						
17	+0,016 -0,034	19	+0,075 +0,035	17,061 16,990				1710	1712	1715	1720	1725						
18	+0,016 -0,034	20	+0,075 +0,035	18,061 17,990				1810	1812	1815	1820	1825						
20	+0,020 -0,041	23	+0,075 +0,035	20,071 19,990				2010	2012	2015	2020	2025	2030					

EK 5 – Kama Ölçüleri

TS 147
DIN 6885
Ölçüler mm dir.



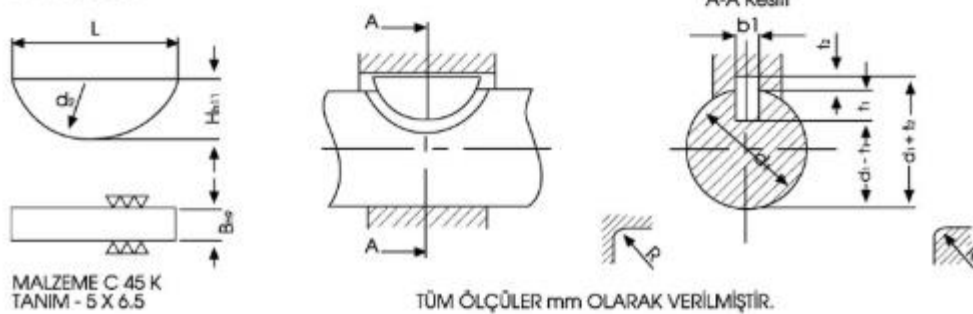
b = 12 mm h = 8 mm L = 56 mm
Gösterim = A 12 x 8 x 56 TS 147 DIN 6885

TOLERANSLAR

Mil kanalı b	SIKI GEÇME HAFIF GEÇME	P 9 N 9
Göbek kanalı b	SIKI GEÇME HAFIF GEÇME	P 9 J5 9
t ₁		+0,1.....0,2
t ₂		+0,1.....0,2

HARİC d ₁ DAHİL	6 8	8 10	10 12	12 17	17 22	22 30	30 38	38 44	44 50	50 58	58 65	65 75	75 85	85 95	95 110	110 130
b	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32
h	2	3	4	5	6	7	8	8	9	10	11	12	14	14	16	18
t ₁	1,2	1,8	2,5	3	3,5	4	5	5	5,5	6	7	7,5	9	9	10	11
t ₂	1	1,4	1,8	2,3	2,8	3,3	3,3	3,3	3,8	4,3	4,4	4,9	5,4	5,4	6,4	7,4
L	6 20	6 36	8 45	10 56	14 70	18 90	20 110	28 140	36 160	45 180	50 200	56 220	63 250	70 280	80 320	90 360
Boy L basamak	6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320 mm															

DIN 6888



EK 6 – OMRON J1000 Motor Sürücüsü

J1000

	Specifications				Model
	Heavy Duty		Normal Duty		Standard
1x200 V	0.12 kW	0.8 A	0.18 kW	0.8 A	JZAB0P1BAA
	0.25 kW	1.6 A	0.37 kW	1.6 A	JZAB0P2BAA
	0.55 kW	3.0 A	0.75 kW	3.5 A	JZAB0P4BAA
	1.1 kW	5.0 A	1.1 kW	6.0 A	JZAB0P7BAA
	1.5 kW	8.0 A	2.2 kW	9.6 A	JZAB1P5BAA
3x200 V	0.12 kW	0.8 A	0.18 kW	0.8 A	JZA20P1BAA
	0.25 kW	1.6 A	0.37 kW	1.6 A	JZA20P2BAA
	0.55 kW	3.0 A	0.75 kW	3.5 A	JZA20P4BAA
	1.1 kW	5.0 A	1.1 kW	6.0 A	JZA20P7BAA
	1.5 kW	8.0 A	2.2 kW	9.6 A	JZA21P5BAA
	2.2 kW	11.0 A	3.0 kW	12.0 A	JZA22P2BAA
	4.0 kW	17.5 A	5.5 kW	21.0 A	JZA24P0BAA
3x400 V	0.37 kW	1.2 A	0.37 kW	1.2 A	JZA40P2BAA
	0.55 kW	1.8 A	0.75 kW	2.1 A	JZA40P4BAA
	1.1 kW	3.4 A	1.5 kW	4.1 A	JZA40P7BAA
	1.5 kW	4.8 A	2.2 kW	5.4 A	JZA41P5BAA
	2.2 kW	5.5 A	3.0 kW	6.9 A	JZA42P2BAA
	3.0 kW	7.2 A	4.0 kW	8.8 A	JZA43P0BAA
	4.0 kW	9.2 A	5.5 kW	11.1 A	JZA44P0BAA



EK 7 – Ömür Uyarlama Faktörü

Kirlilik	Kirlilik Faktörü e_c			
	$d_M < 100$ mm		$d_M \geq 100$ mm	
	En çok	En az	En çok	En az
Çok Yüksek Temizlik (Laboratuvar Ortamı)	1		1	
Yüksek Temizlik	0,8	0,6	0,9	0,8
Standart Temizlik (Yağ ince filtreden filtrelenmiş)	0,6	0,5	0,8	0,6
Hafif kirlenme (Hafif yağ kirliliği)	0,5	0,3	0,6	0,4
Tipik Kirlilik (Aşınma kalıntıları nedeniyle kirlenmiş rulman)	0,3	0,1	0,4	0,2
Ağır Kirlilik (Rulman ortamı yüksek derecede kirli)	0,1	0	0,1	0
Çok Ağır Kirlilik	0		0	