KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POLİMERİK MALZEMELERDE YÜZEY ÇİZİLME DİRENCİNİN ÖLÇÜLMESİ

FURKAN ÖZKAN

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POLİMERİK MALZEMELERDE YÜZEY ÇİZİLME DİRENCİNİN ÖLÇÜLMESİ

FURKAN ÖZKAN

Dr. Öğr. Üyesi Hülya YETİŞTİREN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Prof. Dr. Tamer SINMAZÇELİK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi İlknur KOÇAŞ KOZBE
Jüri Üyesi, İstanbul Gedik Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 03.02.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Polimerik malzeme kullanımının günümüzde yaygın hale gelmesinden sonra fiziksel özelliklerinin, mekanik dayanımlarının anlaşılması vazgeçilmez olmuştur. Yüksek meblağlar ödenerek satın alınan akıllı telefonlardan diğer elektronik cihazlara, inşaat sektöründen makine sektörüne, biyomedikalden tekstile, havacılık endüstrisinden otomotive kadar birçok alanda kullanımı yaygın hale gelen polimerlerin, çizilme davranışlarını tahmin edebilmek, onların çizilmeye karşı dirençlerini belirlemede önemli bir parametredir. Özellikle elektronik cihazlar, biyomedikal malzemeler, estetik açıdan yüzey kalitesinin yüksek olması istenen uygulamalardandır. Dolayısıyla, polimerlerin çizilme dirençlerinin tespiti üzerinden yüzey ve mekanik dayanımlarının daha iyi anlaşılabilmesi için bir test cihazının geliştirilmesi öngörülmüştür.

Bu test cihazının ortaya çıkış fikri ve tasarımı aşamasında çok değerli bilgilerini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Tamer SINMAZÇELİK'e, yine cihazın tasarım ve üretim aşamalarında kapılarını bana her zaman açık tutan ve yol gösteren danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hülya YETİŞTİREN'e, test cihazının otomasyon yazılımında yardımlarını en yoğun zamanında bile benden esirgemeyen çok değerli Selçuk KARAHAN, Birkan KARAYEL ile İzmit Otomasyon'a, takım tezgahları laboratuvarını kullanma imkanı veren Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na ve cihazın imalat ve montajının gerçekleşmesinde büyük payı olan laboratuvar sorumlusu Abdülkadir YAYLA'ya sonsuz sevgi ve saygılarımı sunmayı bir borç bilirim.

Ocak – 2020 Furkan ÖZKAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ viii
ÖZET x
ABSTRACT xi
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 3
1.1. Çalışmanın Amacı 3
1.2. Çalışma Yöntemleri 3
1.3. Önceki Çalışmalar 3
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 4
3. ÇİZİLMEYE GENEL BAKIŞ 14
3.1. Çizilmenin Tarihi 14
3.2. Çizilmenin Önemi 15
3.3. Çizilme Teorisi 16
3.4. Polimerlerde Çizilme Hasar Mekanizması 19
4. POLİMERİK MALZEMELER 22
4.1. Polimerik Malzemelere Genel Bakış 22
4.2. Polimerik Malzemelerin Sınıflandırılması 23
4.2.1. Kaynaklarına göre 24
4.2.2. Zincir şekillerine göre 24
4.2.3. Moleküler kuvvetlerine göre 28
4.2.4. Polimerizasyon yöntemlerine göre 30
5. TASARIM SÜREÇLERİ 31
5.1. Tanım ve Özellikler 31
5.2. Sistematik Mühendislik Tasarımı 32
5.2.1. Amacın netleştirilmesi 34
5.2.2. Kavramsal tasarım 34
5.2.2.1. Temel problem çözme faaliyetleri 36
5.2.2.2. Seçim ve değerlendirme yöntemleri 36
5.2.3. Şekillendirme tasarımı 39
5.2.4. Ayrıntılı tasarım 40
5.3. Tasarımda Malzeme Seçimi 40
5.4. Üretim Maliyetleri 41
5.5. Bilgisayar Destekli Tasarım 44
6. ÇİZİLME TEST CİHAZININ TAHRİK TİPİNİN BELİRLENMESİ 46
6.1. Tasarımdan Beklenen Özellikler 46
6.2. Konsept Çözümlerin İncelenmesi 46
6.2.1. Lineer aktüatör tahrikli sistem 46
6.2.2. Step motor tahrikli sistem 48
6.2.3. Servo motor tahrikli sistem 48

6.2.4. Hidrolik tahrikli sistem 49
6.2.5. Pnömatik tahrikli sistem 50
6.3. Çözümlerin Değerlendirilmesi 50
7. ÇİZİLME TEST CİHAZINA AİT ELEMANLARIN TASARIMI 53
7.1. Mekanik Sistem Elemanlarının Tasarımı ve Tanıtımı 53
7.1.1. Vidalı modül 53
7.1.1.1. Vidalı mil ve flanşlı somun 53
7.1.1.2. Vidalı mil yatakları 54
7.1.1.3. Vidalı mil ucu destek elemanı 55
7.1.1.4. Mil altı destek profili ve indüksiyonlu mil 56
7.1.1.5. Gezici tabla ve lineer rulman 56
7.1.2. Step motor ile vidalı modülün bağlantısı 57
7.1.2.1. Step motor 58
7.1.2.2. Elastik kaplin 58
7.1.2.3. Step motor flanşı 59
7.1.2.4. Taban bloğu 61
7.1.2.5. Çelik profil 61
7.1.2.6. Yükseltme ayağı 62
7.1.3. Çizici uç tutucu ve taşıyıcısının tasarımı 62
7.1.3.1. Çizici uç tutucu 63
7.1.3.2. Çizici uç taşıyıcısı 64
7.1.3.3. Çizici uç 65
7.1.4. Numune tutucu blok tasarımı 66
7.1.5. Sensör tutucu aparat tasarımı 68
8. ÇİZİLME TEST CİHAZININ İMALATI VE MONTAJI 69
8.1. Mekanik Sistemin İmalatı ve Montajı 69
8.1.1. Step motor ile vidalı modülün montajı 70
8.1.2. Çizici uç tutucu ve taşıyıcısının imalatı ve montajı 73
8.1.3. Sensör tutucu aparat imalatı ve montajı 76
8.1.4. Numune tutucu blok imalatı ve montajı 77
8.2. Otomasyon Sistem Elemanlarının Tanıtımı ve Montajı 79
8.2.1. Otomasyonun önemi 79
8.2.2. Otomasyon sistem elemanları 80
8.2.2.1. Step motor 80
8.2.2.2. Step motor sürücüsü 81
8.2.2.3. Endüktif sensör 82
8.2.2.4. Güç kaynağı 83
8.2.2.5. HMI dokunmatik panel 83
8.2.2.6. Programlanabilir mantık denetleyici 84
8.2.3. Otomasyon sisteminin programlanması 85
8.3. Tasarlanan Cihazın Maliyet Yönünden Değerlendirilmesi 93
8.4. Test Cihazının Kullanım Kılavuzu 96
8.4.1. Çizilme testi için uygulanması gereken ayarlar 98
8.4.2. Aşınma testi için uygulanması gereken ayarlar 98
8.4.3. Hız dönüşümleri 98
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 100
KAYNAKLAR 101
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 104
ÖZGEÇMİŞ 105

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. M. Wong ve arkadaşlarının geliştirdiği test cihazı 5
Şekil 2.2. Q. Cheng ve arkadaşlarının tasarlamış olduğu test cihazının şematik gösterimi 6
Şekil 2.3. İncelenen PMMA için hasar mekanizmaları 6
Şekil 2.4. S. Sinha ve arkadaşlarının tasarladığı test cihazı 8
Şekil 2.5. H. Jiang ve arkadaşlarının kullandığı test cihazı 9
Şekil 2.6. Polimer türleri için çizilme hasarı oluşum haritası 9
Şekil 2.7. B. Briscoe ve arkadaşlarının tasarladığı test cihazı 10
Şekil 2.8. A. Kovalchenko ve arkadaşlarının tasarladığı test cihazı 11
Şekil 2.9. P. Kürkçü ve arkadaşlarının kullandığı test cihazı 12
Şekil 3.1. Çizilme işleminin şematik gösterimi 17
Şekil 3.2. Çizik kanalının kesit görünümünün şematik gösterimi 19
Şekil 4.1. Polietilenin, a) Zincir yapısının şematik gösterimi, b) Zigzaglı omurga yapısını gösteren molekülün perspektif görünümü 23
Şekil 4.2. Polimerlerin sınıflandırılması 23
Şekil 4.3. Molekül yapılarının şematik gösterimi, a) Lineer, b) Dallanmış, c) Çapraz bağlı, d) Ağ yapılı 25
Şekil 4.4. Amorf, yarı kristal ve kristal maddelerde ısıl geçişler sırasında gözlenen davranış değişiklikleri 26
Şekil 5.1. Tasarım işlem basamakları 33
Şekil 5.2. Malzeme seçim kriterleri 41
Şekil 5.3. Ürün maliyetinin analizi 42
Şekil 5.4. Üretim maliyetinin bir bölümü olarak tasarım maliyeti 44
Şekil 6.1. Lineer aktüatör tahrikli sistemin modelleme aşamasındaki görünümü 47
Şekil 6.2. Lineer aktüatör, kontrol kutusu ve el kumandası 47
Şekil 6.3. Step motor tahrikli sistemin ilk modelleme görüntüsü 48
Şekil 6.4. Örnek bir hidrolik tahrikli çizilme test cihazı 49
Şekil 6.5. Örnek bir pnömatik tahrikli ticari çizilme test cihazı 50
Şekil 7.1. Vidalı modülün modellenmiş görüntüsü 53
Şekil 7.2. Vidalı mil somunun iç yapısı 54
Şekil 7.3. Rulmanlı yatak ve kesit görünümü 55
Şekil 7.4. Vidalı mil ucu destek elemanı 55
Şekil 7.5. Mil altı destek profili ve indüksiyonlu mil 56
Şekil 7.6. Gezici tabla 57
Şekil 7.7. Lineer rulman 57
Şekil 7.8. Step motorun vidalı modüle yapılan montaj modellemesi 58
Şekil 7.9. Step motorun modellenmiş görüntüsü 58
Şekil 7.10. Elastik kapline ait katalog değerleri 59
Şekil 7.11. Kaplin bağlantısı sonucu step motor flanş deliklerinin mil ucu destek elemanına denk gelen noktaları 60
Şekil 7.12. Step motor flanşının modellenmiş görüntüsü 60
Şekil 7.13. Taban bloğu modellemesi 61

Şekil 7.14. Çelik profiller 61
Şekil 7.15. Yükseltme ayağı 62
Şekil 7.16. Çizici uç tutucu ve taşıyıcı kısmın modellenmiş görüntüsü 62
Şekil 7.17. a) Çizici uç tutucu, b) Yük bloklarını taşıyacak lama, c) Yük bloklarını dengede tutacak mil 63
Şekil 7.18. Çizici uç tutucunun montaj modellemesi 64
Şekil 7.19. Dikey lamaların modellenmiş görüntüsü 64
Şekil 7.20. Yatay lama modellemesi 65
Şekil 7.21. Çizici uç modellemesi 65
Şekil 7.22. Tasarımı yapılan ilk numune tutucu blok 66
Şekil 7.23. Tasarımına karar verilen numune tutucu blok 67
Şekil 7.24. Numune tutucu bloğun sisteme montajının modellenmesi 67
Şekil 7.25. a) Sensör tutucu aparat, b) Sensörün tutucu aparata monte edilmiş görüntüsü 68
Şekil 7.26. Çizilme test cihazının mekanik tasarım modellemesinin nihai görüntüsü 68
Şekil 8.1. Vidalı modül 69
Şekil 8.2. Vidalı modüle ait yükleme değerleri 69
Şekil 8.3. Kestamit taban bloğu 70
Şekil 8.4. Yükseltme ayaklarının taban bloğuna montajı 70
Şekil 8.5. Vidalı modülün çelik profil desteğiyle taban bloğuna sabitlenmesi 71
Şekil 8.6. Step motor flanşı 71
Şekil 8.7. Elastik kapline delik açma işlemi 72
Şekil 8.8. Step motor ve vidalı milin kaplin bağlantısı 72
Şekil 8.9. Step motorun sisteme monte edilmesi 73
Şekil 8.10. Dikey lamalar 73
Şekil 8.11. Yatay lama kanalının parmak freze ile işlenmesi 74
Şekil 8.12. Dikey ve yatay lamanın sisteme monte edilmiş görüntüsü 74
Şekil 8.13. Çizici uç tutucunun imalatı 75
Şekil 8.14. Çizici uç tutucu mile pafta çekme işlemi 75
Şekil 8.15. Çizici uç tutucunun nihai görüntüsü 76
Şekil 8.16. Sensör tutucu aparat 77
Şekil 8.17. Sensörlerin sisteme monte edilmiş görüntüsü 77
Şekil 8.18. Numune taşıyıcı tablaya T-kanal açma işlemi 78
Şekil 8.19. T-kanal somun ölçüleri 78
Şekil 8.20. Numune tutucu bloğun imal edilmiş görüntüsü 79
Şekil 8.21. Step motor 81
Şekil 8.22. Step motor sürücüsü 82
Şekil 8.23. Endüktif sensör 82
Şekil 8.24. Güç kaynağı 83
Şekil 8.25. HMI dokunmatik panel 84
Şekil 8.26. Programlanabilir mantık denetleyici 84
Şekil 8.27. Test cihazının PLC bağlantı şeması 85
Şekil 8.28. İki güç kaynağının seri bağlantı ile birleştirilmesi 86
Şekil 8.29. Step motorun bağlantı şemaları 87
Şekil 8.30. HMI dokunmatik panel, PLC, güç kaynağı ve step motor sürücüsünün sisteme monte edilmiş görüntüsü 90
Şekil 8.31. İmalatı ve montajı tamamlanan test cihazı 91

Şekil 8.32. Çizilme test cihazı modellemesinin demonte edilmiş görüntüsü 91
Şekil 8.33. Tasarımı yapılan test cihazının maliyet dilimleri 93
Şekil 8.34. Döviz kurunun tasarım ve imalat sürecindeki değişimi 94
Şekil 8.35. Test cihazının maliyet karşılaştırma grafiği 95
Şekil 8.36. HMI dokunmatik panel menüsü 96

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Literatürde incelenen test cihazlarının fonksiyonlarının karşılaştırılması 13
Tablo 3.1. Mohs sertlik skalası 14
Tablo 3.2. Tipik polimerlerin tribolojik özellikleri ve uygulama alanları 21
Tablo 4.1. Yaygın olarak kullanılan bazı polimerik malzemelerin camsı geçiş ve ergime sıcaklık değerleri 28
Tablo 5.1. Örnek bir sistematik seçim kartı 37
Tablo 6.1. Test cihazından beklenen özellikler 46
Tablo 6.2. Çizilme test cihazı seçim kartı 51
Tablo 8.1. Akım tablosu 88
Tablo 8.2. Pals/dv tablosu 89
Tablo 8.3. Test cihazını oluşturan elemanların malzeme cinsi ve adetleriyle birlikte listesi 92
Tablo 8.4. Hız dönüşüm değerleri 99

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_i : Çizilen alan, (m^2)
d : Çizilme genişliği, (m)
F : Uygulanan kuvvet, (N)
H_S : Çizilme sertliği, (MPa)
q : Malzemenin çizilmeye karşı verdiği tepki
W : Normal yük, (kg)
μ : Sürtünme katsayısı

Kısaltmalar

AC : Alternative Current (Alternatif Akım)
ASTM : American Society for Testing and Materials (Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu)
CAD : Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayar Sayımlı Yönetim)
COF : Coefficient of Friction (Sürtünme Katsayısı)
DC : Direct Current (Doğru Akım)
DIR : Direction Signal (Yön Sinyali)
EPM : Etilen Propilen Kauçuk
GND : Ground (Topraklama)
HMI : Human Machine Interface (İnsan Makine Arayüzü)
ICSID : The International Council of Societies of Industrial Design (Uluslararası Endüstriyel Tasarım Toplulukları Konseyi)
ISO : International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Örgütü)
MF : Melamin Formaldehit
NEMA : National Electrical Manufacturers Association (Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği)
PA : Poliamit
PB : Polibütilen
PBI : Polybenzimidazole
PC : Polikarbonat
PE : Polietilen
PEEK : Polietereterketon
PI : Polyimide
PLC : Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantık Denetleyici)
PMMA : Polimetil Metakrilat
PP : Polipropilen
PPP : Polyparaphylene
PS : Polistiren
PTFE : Politetrafloretilen
PUL : Pulse (Sinyal)

PVC	: Polivinilklorür
RMS	: Root Mean Square (Ortalama Karekök)
SAN	: Stiren-Akrilonitril
SCOF	: Scratch Coefficient of Friction (Çizilme Sürtünme Katsayısı)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
SMS	: Surface Machine Systems (Yüzey Makine Sistemleri)
SMT	: Sistematik Mühendislik Tasarımı
SW	: Switch (Anahtar)
TPO	: Termoplastik Olefin
UHMWPE	: Ultra High Molecular Weight Polyethylene (Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen)

POLİMERİK MALZEMELERDE YÜZEY ÇİZİLME DİRENCİNİN ÖLÇÜLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada polimerik malzemeler için bir çizilme test cihazının tasarımı ve imalatı hedeflenmiştir. Son yıllarda polimerik malzemeler kendilerine geniş bir şekilde kullanım alanı bulmuştur. Buradan hareketle polimerik malzemelerin dayanımlarının anlaşılması önem arz etmektedir. Bu ihtiyacı karşılamak için muhtelif test makineleri geliştirilmiştir. Bu test makinesinin tasarım aşamasında iki fonksiyonda çalışacağı düşünülmüştür. Bunlardan bir tanesi tek hareketli mod olan numune çizme modudur. Bu mod tablanın tek bir hareketini içerir. Alt yüzeyinde çizici bir uç ve üst kısmında yük blokları bulunan dikdörtgen kesite sahip metal bir lama, numunenin üzerine bırakılır. Numunenin bağlı olduğu tabla tek yönde hareket eder ve dokunmatik panelde belirtilen mesafe bittiğinde durdurulur. Böylelikle numune, üzerine uygulanan yük ile çizilmiş olur. Bir diğer mod ise eksenel olarak ileri geri hareket etme işlemi olan git-gel hareket modudur. Bu yöntemdeki amaç aşınma testini gerçekleştirmektir. Bu çalışmadan, çizici bir uç tarafından, polimerik malzeme yüzeyine uygulanan kuvvet neticesinde oluşan iz (çizik kanalı), tarayıcı elektron mikroskobu aracılığıyla detaylı olarak görüntülenerek, onun çizilmeye ve/veya aşınmaya karşı göstermiş olduğu direnç hakkında yorumda bulunulabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, Çizilme Direnci, Çizilme Testi, Git-Gel Hareketi, Tasarım ve İmalat.

THE MEASUREMENTS OF SURFACE SCRATCH RESISTANCE IN POLYMERIC MATERIALS

ABSTRACT

In this study, it is aimed to design and manufacture a scratch test machine for polymeric materials. In recent years, the use of polymeric materials has becoming widespread. Therefore, understanding of the strength of polymeric materials has gained importance. Various test machines are developed to meet this need. During the process of designing the test machine, it was thought that it would operate in two functions. One of them is the single-pass mode which also is named scratch test. This mode includes single motion. A rectangular metal sheet with an indenter device at the bottom and weight blocks at the top is placed on specimen. The plate to which the specimen is clamped moves in one direction and stops when the movement distance is over. Thus, the specimen is scratched by the load applied on it. Another function includes multiple motion which is named reciprocating motion. The purpose of this method is to carry out the abrasion test. From this study, the scratch groove resulting from the force applied to the surface of the polymeric material by an indenter can be viewed in detail by scanning electron microscope and its resistance to scratching and/or abrasion can be interpreted.

Keywords: Wear, Scratch Resistance, Scratch Test, Reciprocating Motion, Design and Manufacturing.

GİRİŞ

Metalik malzemeler yaşamımızın hemen hemen her alanında kullandığımız temel malzeme türlerindendir. Otomotiv ve makine sektörü, savunma sanayi, uzay ve havacılık endüstrisi, inşaat sektörü gibi alanlarda metaller uzun yıllardan bu yana kullanılmaktadır. Ham madde maliyetinin artması, metalin işlenebilirlik süreçlerinin uzun olması ve maliyeti, endüstricileri başka bir malzeme arayışı içerisine itmiştir. Metale alternatif olarak kullanılacak olan malzemenin, metal kadar veya ona yakın dayanım göstermesi önemlidir. Bu noktada polimerik malzemeler üreticilerin ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Aynı hacimdeki çelik bir malzemeye göre yedi kata kadar daha düşük özgül ağırlığa sahip olan polimerler, hafifliğin istendiği uygulamalarda metallere alternatif olarak kullanılabilmektedir. Bunların yanında maliyetinin az olması, kolay şekillendirilebilir olması, bir kısmının geri dönüştürülebilir olması üreticileri onları kullanmaya iten diğer önemli unsurlardandır.

Metallerin doğada ilk bulundukları cevher halleri bileşik halidir. Metaller, termodinamik kanunları gereğince içinde bulundukları ortamla reaksiyona girerek bozunma eğilimindedir. Bir diğer ifadeyle kararlı hallerine, doğada ilk bulundukları hale dönme eğilimi içerisindedirler. Polimerler ise yüksek kimyasal ve korozyon direncine sahiptirler. Polimerlerin bu yönü de onların metallere tercih edilmesinin başka bir sebebidir.

Akıllı telefonların günümüzde artık vazgeçilmez bir iletişim aracı olmasından sonra polimerik malzemelerin önemi daha iyi anlaşılır hale gelmiştir. Akıllı telefonlar polimerik malzeme kullanımının yoğun olduğu cihazlardır. Yüksek meblağlar ödenerek satın alınan bu akıllı telefonların çizilmesi, ezilmesi, darbe görmesi, tüketiciler tarafından istenmeyen durumlardandır. Bu yüzden uygulanan çeşitli koruma yöntemleri ile çizilmelerin, darbelerin, ezilmelerin önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Akıllı telefonları darbelerden koruyan kılıflar ve kırılmaz cam

koruyucuları, kırılması durumunda neredeyse telefon fiyatının üçte biri oranında değişimi yapılan ekranlar, polimerlerde çizilmenin öneminin anlaşılmasında iyi birer örnektir.

Polimerlerin birçok sektörde yaygın hale gelmesinden sonra, dayanımlarının anlaşılması ihtiyacı doğmuştur. Yüzey kalitesinin kusursuz olması istenen otomotiv parçaları, kaplamalar, kontakt lens ve gözlük gibi biyomedikal optik ürünler, kompakt disk, bilgisayar ve televizyon ekranları, sabit disk sürücüleri gibi elektronik aygıtlarda estetik olarak yüzey kalitesinin iyi olması istenmektedir. Bu ürünlerden otomotiv parçaları ve kaplamalarda meydana gelen çizilmeler veya kusurlar, işlevsel bütünlüğü bozmazken, ürün çekiciliğini ve orijinalliği azaltmaktadır. Ancak kompakt disk, gözlük, kontakt lens, sabit disk sürücüsü gibi elektronik ve biyomedikal cihazlarda veya ürünlerde hem ürünün işlevselliği bozulur hem de çekicilik ve orijinallik zarar görür.

Polimerler için hasar mekanizmalarının anlaşılması, yüzey çizilme dirençlerinin belirlenebilmesi adına geliştirilen bu test cihazının literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Tasarım aşamasında, sistemdeki elemanların malzeme seçiminde göz önünde bulundurulan hafif ve dayanıklı olma şartı, bu test cihazını bir insanın rahatlıkla taşıyabileceği portatif bir cihaz haline dönüştürmüştür. Kademesiz olarak seçilebilen hız ayarı, istenen yüklerde teste elverişli olması, 14 mm kalınlıktaki numuneleri dahi test edebilme imkanı sunması, hem çizilme hem aşınma testlerini gerçekleştirebilecek kapasitede olması avantajlı yönlerindendir. Teste başlama ve bitirme, hız ayarı, tabla başlangıç pozisyonu gibi seçimlerin dokunmatik ekrandan milimetrik hesap ile yapılabilmesi, onu fonksiyonel bir makine kılan yönlerdendir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Çalışmanın Amacı

Günümüzde, özellikle yüzey estetiğinin önemli olduğu uygulamalarda polimerik malzemelerin kullanımının yaygınlaşması ile birlikte çizilme dirençlerini belirlemek önemli hale gelmiştir. Bu amaca yönelik olarak, polimerlerin yüzey çizilme dirençlerinin belirlenmesi üzerinden çizilme hasar mekanizmaları saptanabilmektedir. Bu çalışmada, polimerlerin uygulanan yükün bir fonksiyonu olarak yüzey çizilme dirençlerinin belirlenebilmesi üzerine bir test cihazı tasarımı ve imalatı amaçlanmıştır. 5000 TL maliyet ile üretilmesi hedeflenen test cihazının, çizilme testinin yanı sıra aşınma testini de gerçekleştirebilecek kapasitede olması düşünülmektedir.

1.2. Çalışma Yöntemleri

Test cihazının geliştirilmesi, sistematik mühendislik tasarımı ve üretim yöntemleri göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Tasarımı düşünülen test cihazının modelleme ve montajı üç boyutlu modelleme programı olan SOLIDWORKS® yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca parçaların işlenmesi için gerekli olan teknik resimler de bu yazılım aracılığıyla oluşturularak üretilmiştir.

1.3. Önceki Çalışmalar

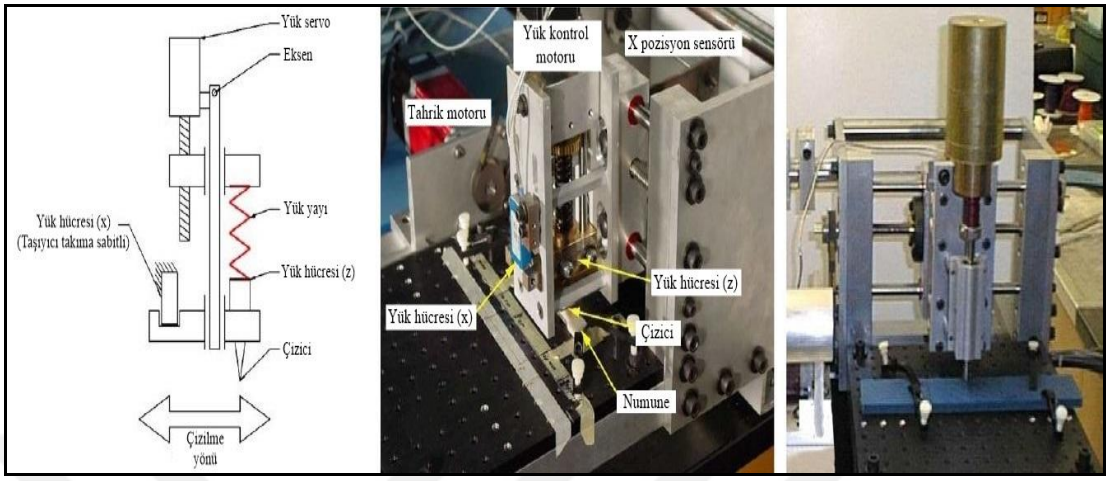
Polimerlerin çizilmesine yönelik bilimsel çalışmalarda kullanılmak üzere laboratuvar ortamında çeşitli özelliklerde tasarlanmış test cihazlarının yanı sıra ticari olarak üretilmiş çizilme test cihazları da bulunmaktadır. Bunlarla ilgili geniş bir inceleme, literatür araştırması bölümünde verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürdeki çizilme deneyi ile ilgili yapılan araştırmaların birçoğunda ticari test cihazları kullanılarak bir polimerik malzemenin çizilmeye karşı dayanımı belirlenmeye çalışılmıştır. Bazı çalışmalarda ise araştırmacılar, kendilerinin tasarlamış olduğu test cihazları ile çizilme deneyi testlerini gerçekleştirmişlerdir. Her iki durumla ilgili literatür araştırması yapılmış olup aşağıda özetlenmiştir.

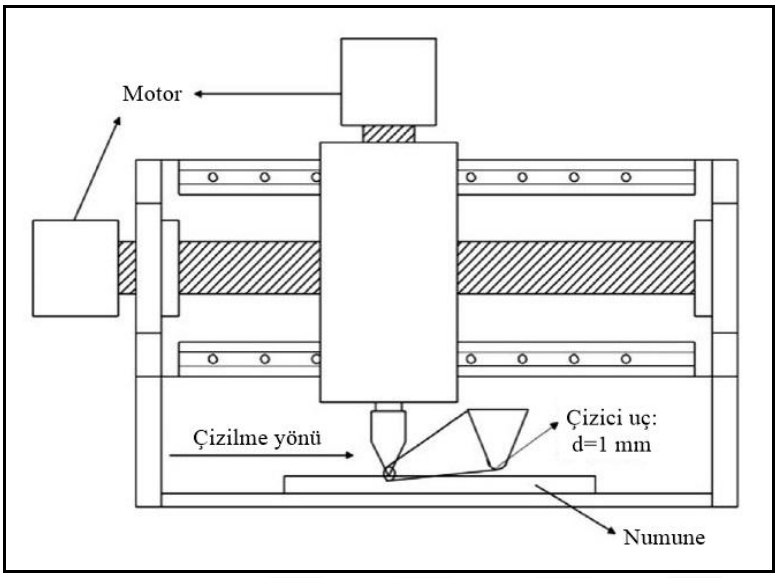
M. Wong ve arkadaşları polimerlerin çizilme direncini belirlemede yeni bir test yöntemi üzerine çalışma yapmışlardır. Polimerlerin çizilme direncini belirlemede etkili bir değerlendirme yapılabilmesi için; artan sabit hız altında doğrusal yük, sabit hız altında sabit yük ve artan sabit yük altında doğrusal hız olmak üzere üç farklı test koşulları uygulanmıştır. Bu araştırma için yeni bir test cihazı geliştirilmiştir (Şekil 2.1). Geliştirilen test cihazının çok-geçişli, çok-uçlu, sabit yük, sabit hız, artan yük ve artan hız potansiyelli olduğu ve muhtelif ortam sıcaklıkları altında test imkanı verdiği vurgulanmıştır. Çizici test birimi; çizici ucu, sabit veya artan hızda süren bir servo motordan oluşmaktadır. Çizici ucun 400 mm/sn hıza ulaşabildiği belirtilmiştir. Ayrıca yük kapasitesinin ölü yükler için 0-50 N, yaylı yükler için 0-100 N olduğu vurgulanmıştır. Test cihazı, test sırasındaki önemli verileri (teğetsel kuvvet gibi) kaydetmek için sensörle donatılmıştır. Test parametreleri, çizilme geçişi, başlangıç ve bitiş pozisyonları ve çizici ucun hızı yerleşik bir mikroişlemci üzerinden kontrol edilmektedir. Bu çalışmada dört farklı kompozisyonda polipropilen (PP) seçilmiştir ve üç farklı test uygulanmıştır. Birinci testte, 100 mm/sn sabit hızdaki çizici uç ve 0-50 N arasında doğrusal olarak artan yük uygulanmıştır. İkinci test, 100 mm/sn sabit çizici uç hızı ve 30 N'luk ölü yük uygulanarak yapılmıştır. Üçüncü testte, 30 N'luk ölü yük, 0'dan 140 mm/sn'ye kadar artan çizici uç hızında uygulanmıştır. Çizilme uzunluğu tüm testlerde 100 mm'dir ve testler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. 1 mm çapında paslanmaz çelik bilye, çizici uç olarak kullanılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak yüzey hasar özellikleri mikro ölçekte incelenmiştir. Sonuç olarak, ölü yük yönteminde görülen titreşim olayının doğrusal artan yük yöntemi ile önüne geçilmiştir. Üç boyutlu sonlu elemanlar analizinden,

yükteki ve çizilme hızındaki değişim ile çizici uçtaki gerilme dağılımı gibi etkili faktörlerin daha iyi anlaşılması mümkün olmuştur [1].

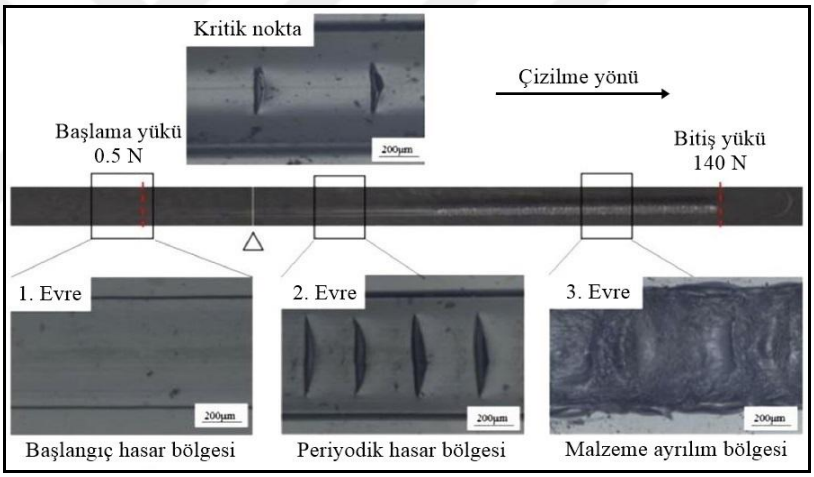


Şekil 2.1. M. Wong ve arkadaşlarının geliştirdiği test cihazı [1]

Q. Cheng ve arkadaşları tarafından termal yaşlanmanın polimetil metakrilat (PMMA) çizilme davranışına etkisi incelenmiştir. Bu çalışmayı, tasarlamış oldukları test cihazı ile gerçekleştirmişlerdir (Şekil 2.2). Tasarladıkları test cihazında 1 mm çapında küresel paslanmaz çelik çizici uç kullanmışlardır. Normal yükün 0,5 N ile 140 N arasında doğrusal olarak değiştiği, çizilme uzunluğunun 100 mm olduğu, çizilme hızının ise 25 mm/sn olduğu vurgulanmıştır. Tüm çizilme testlerinin oda sıcaklığında gerçekleştirildiği vurgulanmıştır. Çizik kanalı boyunca gerçekleşen hasar özelliklerinin detayları lazer taramalı mikroskop ile görüntülenmiştir (Şekil 2.3). Sonuç olarak, düşük normal bir yük altında sadece düzgün kayma izi, normal yükün artırılmasıyla birlikte periyodik çatlakların oluştuğu belirtilmiştir. Normal yükün daha da artırılmasıyla yüzeyden malzeme ayrılımının meydana geldiği bildirilmiştir. Kritik normal yükün yaşlandırma süresi artışıyla birlikte azaldığı belirtilmiştir. Çalışmada, yaşlandırma süresi ne kadar uzun olursa PMMA'nın çizilme direncinin o kadar düşük olduğu belirtilmiştir. Ayrıca kritik normal yükün ilk yedi gün içinde hızlı bir şekilde azaldığı ve daha sonrasında azalış eğiliminin yavaşladığı belirtilmiştir [2].



Şekil 2.2. Q. Cheng ve arkadaşlarının tasarlamış olduğu test cihazının şematik gösterimi [2]

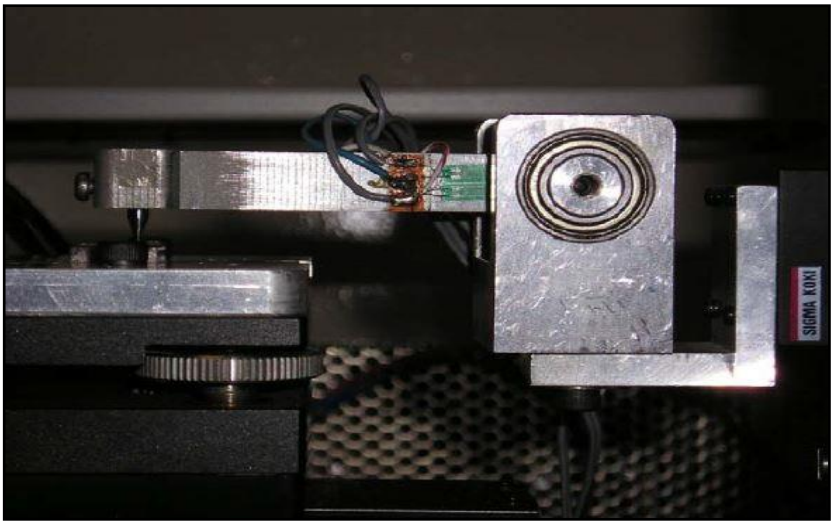


Şekil 2.3. İncelenen PMMA için hasar mekanizmaları [2]

F. Wredenberg ve arkadaşları metal ve polimerlerin çizilme testini deneysel ve nümerik olarak gerçekleştirmişlerdir. Çizilme deneyleri, bir kontrol ünitesine sahip çift eksenli servo-hidrolik makine kullanılarak numunenin yüzeyine konik elmas uç ile çizik atmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Normal kuvvetler ve teğetsel kuvvetler bir yük hücresi ile ölçülüp kaydedilmiştir. Tüm numunelere 0,4 mm/sn ve 0,9 mm/sn hızda çizilme işlemi uygulanmıştır. Bazı durumlarda çizilme hızı 1,8 mm/sn'ye çıkarılmıştır. Deneyde iki alüminyum alaşımı, üç polimer ve bir paslanmaz çelik numunesi ile çalışılmıştır. Normal yük, polimerler için 250 N ve 500 N'da sabit tutulmuş iken metalik numuneler için 500 N, 1kN ve 1,5 kN olarak uygulanmıştır. Numuneler çizildikten sonra oluşan kalıntı izleri optik mikroskop ile ölçülmüştür.

Çizilme sertliği sonuçları, deneysel olarak PMMA için 590 MPa iken, nümerik olarak 520 MPa; paslanmaz çelik için deneysel olarak 2800 MPa, nümerik olarak 2500 MPa olduğu vurgulanmıştır [3].

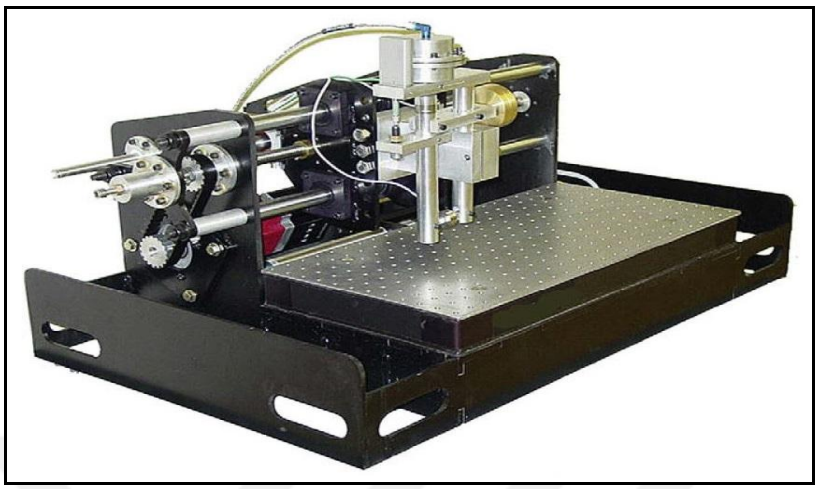
S. Sinha ve arkadaşları polimer yüzeylerin tek geçişli çizilme testinde normal yükün etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmayı tasarlamış oldukları test cihazında gerçekleştirmişlerdir (Şekil 2.4). Test cihazının ana bileşenleri; numunenin monte edildiği kısım ve konik ucun sabitlendiği çizici koldur. Numunenin sabitlendiği kısım sabit bir hızda hareket ederken çizici kol test sırasında sabit kalmaktadır. Gerilme ölçücü aygıtlar, test sırasında çizilme kuvvetini kaydetmek için çizici kola bağlanmıştır. Çizici kol dikey düzlemde serbest bir şekilde hareket edebilmektedir ve normal yük çizici ucun üst kısmına bağlanmak suretiyle numune üzerine baskı uygulamaktadır. Çizici uç yarıçapı 6 μm olup, karbon çeliğinden üretilmiştir; konik şekle sahip ve 30° açılıdır. Hareketli kısmın hızının 0,2 mm/sn ve 2 mm/sn olduğu ve numuneler üzerine uygulanan yükün 0,5 N ile 10 N arasında değiştiği vurgulanmıştır. Çizilme testleri, farklı mekanik özelliklere sahip amorf ve yarı kristal termoplastikler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çizilme testi sonrasında numuneler, çizilme genişliği ve hasar mekanizmasını anlamak için SEM ile detaylı olarak görüntülenmiştir. Çizilen numuneler aynı zamanda farklı noktalardaki çizilme derinliklerini kaydetmek için lazer profilometre ölçer ile görüntülenmiştir. Sonuç olarak; normal yükün artırılmasıyla birlikte, düşük akma dayanımı gösteren polivinilklorür (PVC) ve PP gibi polimerler için, çizilme sertliğinin azalma eğiliminde olduğu ve diğer polimerlerle karşılaştırıldığında daha yüksek çizilme derinliğinin elde edildiği vurgulanmıştır. Yüksek akma dayanımına sahip polimerler için ise normal yükün artırılmasıyla birlikte, çizilme sertliğinde bir artış olduğu, fakat daha yüksek yüklerde sertliğin azalış eğilimi içinde olduğu vurgulanmıştır. Gevrek polimerler için, çok yüksek normal yükte termal etkilerden dolayı bazı kısmi sünek davranış belirtilerinin gerçekleşebileceği vurgulanmıştır. Verilen çizilme kuvveti-yük grafiğinde, 0,2 mm/sn çizilme hızında gerçekleştirilen test için, uygulanan yük ile çizilme kuvveti arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve tüm yükler için sürtünme katsayısının (COF) sabit olduğu vurgulanmıştır. 2 mm/sn çizilme hızında ise daha yüksek normal yükte, sürtünme katsayısında önemli bir düşüş olduğu vurgulanmıştır [4].



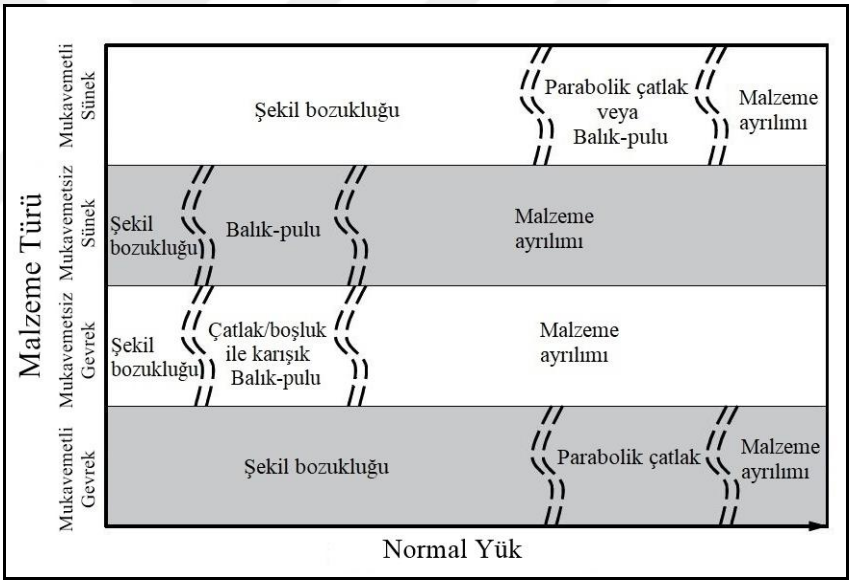
Şekil 2.4. S. Sinha ve arkadaşlarının tasarladığı test cihazı [4]

H. Jiang ve arkadaşları bazı polimerlerin çizik ilişkili hasar mekanizmalarını araştırmışlardır. Bunun için, sünek ve mukavemetli, sünek ve mukavemetsiz, gevrek ve mukavemetli, gevrek ve mukavemetsiz olmak üzere dört kategoride polimer türleri incelenmiştir. Çiziğin yarattığı hasarın özellikleri optik ve elektron mikroskobu ile detaylı olarak incelenmiştir. İnceledikleri malzemelerin; polikarbonat (PC), %70 PP ile %30 etilen propilen kauçuk (EPM) karışımı termoplastik olefin (TPO), polistiren (PS) ve epoksi der 332 reçinesi olduğu vurgulanmıştır. Tüm numunelerin pürüzsüz bir yüzey karakteristiğine sahip olduğu ve 50 mm uzunluk, 10 mm genişlik ile 3 mm kalınlığa sahip olduğu vurgulanmıştır. Tüm numune yüzeyleri çizilme testi öncesinde toz püskürtücü ile temizlenmiştir. ASTM ve ISO test standartlarına uygun, Surface Machine Systems (SMS) şirketi tarafından üretilen ve birçok çizilme testinde kullanılan cihaz, çizici aygıt olarak kullanılmıştır (Şekil 2.5). Bu cihaz teğetsel ve normal kuvvetleri kaydedebilme özelliğine sahiptir. Mukavemetsiz polimerler ve yumuşak TPO için 1 mm çaplı paslanmaz çelik küresel uç, mukavemetli polimerler için 1 mm çaplı tungsten karbür küresel uç kullanılmıştır. Her iki çizici ucun da polimerlere nazaran daha sert olduğu vurgulanmıştır. Çizilme uzunluğu 100 mm olarak belirlenmiştir. Çizilme hızı, rijit polimerler için 100 mm/sn, yumuşak TPO için 1 mm/sn ve 100 mm/sn olarak uygulanmıştır. Yük aralığı mukavemetsiz polimerler için 1 N'dan 30 N'a kadar, mukavemetli polimerler için 1 N'dan 100 N'a kadar değişmektedir. Sonuç olarak, inceledikleri polimerlerin hasar mekanizmalarına göre bir kategorize çalışması yapmışlardır (Şekil 2.6). TPO'nun sünek ve mukavemetsiz, PC'nin sünek ve

mukavemetli, PS'nin gevrek ve mukavemetsiz, epoksinin gevrek ve mukavemetli polimer olarak kategorize edildiği vurgulanmıştır [5].



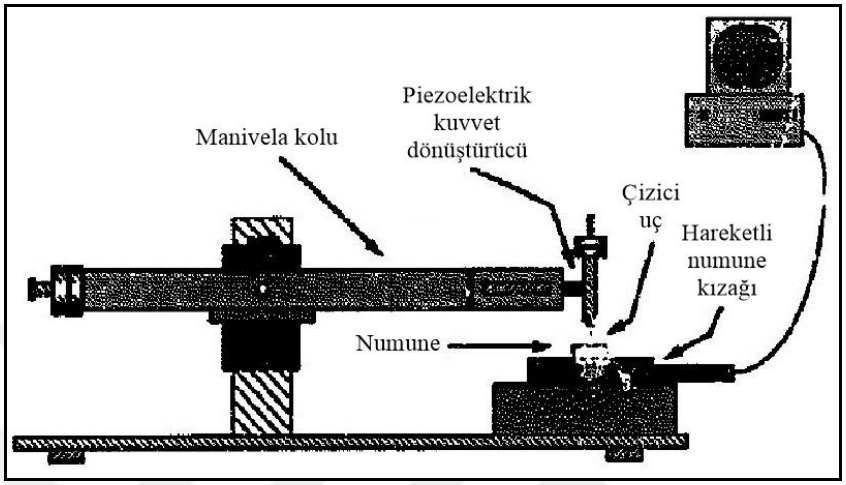
Şekil 2.5. H. Jiang ve arkadaşlarının kullandığı test cihazı [5]



Şekil 2.6. Polimer türleri için çizilme hasarı oluşum haritası [5]

B. Briscoe ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, manivela tipi bir test cihazı kullanılmıştır (Şekil 2.7). Çizici uç manivela koluna, numuneler ise hareketli bir tablaya sabitlenmiştir. Bu tabla 0,001 mm/sn ve 40 mm/sn aralıklarda çizilme hızları sağlamaktadır. Çizici uç tutucu, çizilme kuvvetini kaydetmek için piezoelektrik bir kuvvet dönüştürücüsüne bağlanmıştır. Normal yük, çizici uç üzerine yerleştirilen sabit yükler aracılığıyla numuneye uygulanmıştır. Çizici uç olarak, çeşitli açılarda yüksek hız çeliğinden yapılmış konik uç ve çeşitli çaplarda küresel uç kullanılmıştır. Çizilme sertliği ve deformasyon mekanizması belirlenmek istenen malzemelerin

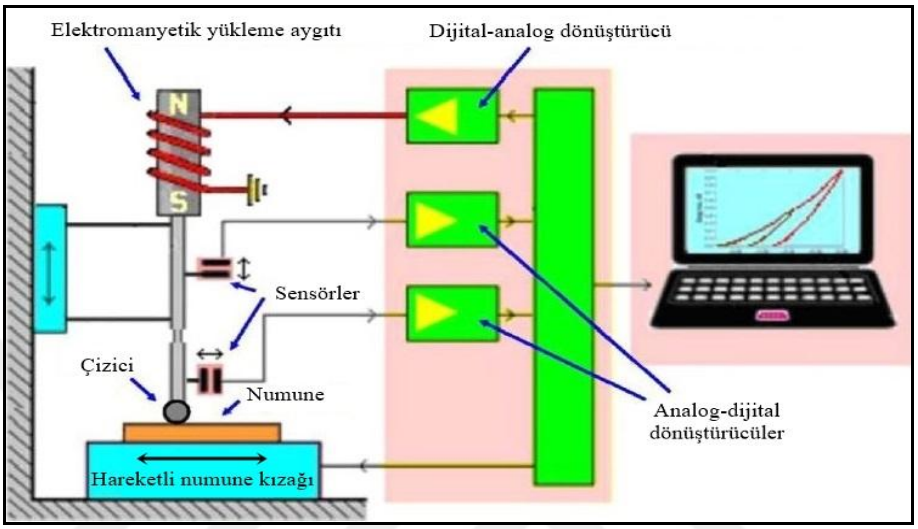
politetrafloretilen (PTFE), PMMA ve ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE) olduğu vurgulanmıştır. Sonuç olarak, uygulanan yük, çizilme hızı ve temas yüzeyi sıcaklığının, çizilme sonucu ortaya çıkan deformasyon özelliklerinde hayati bir öneme sahip olduğu vurgulanmıştır [6].



Şekil 2.7. B. Briscoe ve arkadaşlarının tasarladığı test cihazı [6]

A. Kovalchenko ve arkadaşları, tasarlamış oldukları test cihazı ile (Şekil 2.8), çeşitli geometrilere sahip aşındırıcı parçacıkların, silikon üzerinde çizik kaynaklı meydana gelen hasar mekanizmalarını incelemişlerdir. Sürtünme kuvveti, çizicinin yer değişiminin bir fonksiyonu olarak kaydedilirken, kademeli ölçeklendirme ise yükün artırılmasına veya azaltılmasına izin vermektedir. Deneyde; rastgele şekillendirilmiş elmas partikül, rastgele şekillendirilmiş tungsten karbür partikül ve bilye biçiminde tungsten karbür partikül olmak üzere üç çeşit aşındırıcı tanecik kullanılmıştır. Aynı yükleme koşulları altında tek kristal silikonunun çizilmesi sırasında rastgele şekilli elmas ve tungsten karbür ile bilye şekilli tungsten karbür arasındaki farkı gözlemlemek için karşılaştırmalı çalışmalar yapılmıştır. Çizilme işlemi, 40 mm x 20 mm ebatlarında silikon bir plakaya, 20 μm/sn sabit bir çizilme hızında uygulanmıştır. Çizilme uzunluğu 3 mm'dir. Yük fonksiyonu; çizici ucun, çizilme mesafesinin yarısına varana kadar maksimum 1 N'a kademeli olarak ulaşacak şekilde; yolun geri kalan kısmında ise tekrar 0 N'a kademeli olarak düşecek şekilde programlanmıştır. Sonuç olarak, üç farklı partikül ile gerçekleştirilen testlerle ilgili sürtünme kuvveti grafikleri ve çiziklerin SEM görüntüleri elde edilmiştir. Rastgele şekillendirilmiş parçacıkların kullanılmasının, malzeme ayrılım moduna ve bunun da gevrek kırılmaya sebebiyet verdiği vurgulanmıştır. Bununla birlikte aynı yükleme koşulları

altında, pürüzsüz, küresel şekilli tungsten parçacıkları kullanılarak kırıksız (tamamen sünek) bir malzeme ayrılım modunun elde edildiği vurgulanmıştır. Elmas ve ezilmiş tungsten parçacıklarının keskin kenar ve köşelerinin, kırılma tokluğunun kritik değerinin ötesinde kırılma stresine sebebiyet verdiğini, bunun da çatlaklara ve parçalanmalara neden olduğu vurgulanmıştır [7].



Şekil 2.8. A. Kovalchenko ve arkadaşlarının tasarladığı test cihazı [7]

K. Friedrich ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada, yüksek performanslı polimerlerin çizilme dirençleri üzerinde durulmuştur. Testi, SMS şirketinin üretmiş olduğu "Scratch Machine 5" test cihazıyla gerçekleştirmişlerdir. Çizilmeye maruz bırakılacak malzemeler polybenzimidazole (PBI), polyparaphenylene (PPP), polyetheretherketone (PEEK), polyimide (PI) olarak belirlenmiştir. Sertlik testinde Vickers elmas uç, tam bir yük-girinti derinliği eğrisi elde edilinceye kadar her bir numunenin yüzeyi üzerine batırılmıştır. Bu çalışma, çizilme hızı 10 mm/sn, çizilme uzunluğu 15 mm, 5 N'dan 90 N'a kadar artan bir yük ve 1 mm çapa sahip küresel bir çizici uç ile gerçekleştirilmiştir. Deney sonrası yük-girinti derinliği eğrileri elde edilmiştir [8].

J. Rajesh ve arkadaşları çeşitli poliamitlerin (PA) çizilme davranışlarını araştırmışlardır. PA numunelerin, 100 mm x 10 mm x 6 mm ebatlarında olduğu, yük aralığının 10-40 N arasında değiştiği, çizilme hızının 0,72 mm/sn olduğu belirtilmiştir. 120°'lik bir koni açısına ve 200 µm yarıçapa sahip elmas uç kullanıldığı, atak açısının 30° olduğu vurgulanmıştır. Her bir deneyin beş kez tekrar edildiği ve çizilme genişliğinin ortalama değerinin alındığı bu çalışmada çizilme

genişliğinden yararlanılarak çizilme sertliğinin (H_S) hesaplandığı vurgulanmıştır. Sonuç olarak, çizilme genişliği, çizik derinliği, sürtünme kuvveti, çizilme sertlik değerleri hesaplanmıştır. Çizilme genişliği, çizik derinliği, temas bölgesi ve sürtünme kuvvetinin uygulanan yük ile doğrusal olarak arttığı; çizilme sertliği değerlerinin, özellikle yüklerin 10 N ve üzerinde olduğu durumlarda yüke bağlı olmadığının gözlemlendiği vurgulanmıştır [9].

P. Kürkçü ve arkadaşları bazı polimerlerin çizilme davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Test ettikleri polimerlerin; PMMA, PC, polietilen (PE), melamin formaldehit (MF), küçük topak formunda polibütilen (PB) ve stiren-akrilonitril (SAN) olduğunu vurgulamışlardır. Tüm numuneler, 15 mm x 30 mm x 3 mm ebatlarındadır. Teste başlamadan önce tüm numune yüzeylerinin deterjanla temizlendiği ve 50 °C vakum fırınında 12 saat süreyle kurutuldukları belirtilmiştir. Çizilmeyi, CSM Microscratch test cihazını kullanarak gerçekleştirmişlerdir (Şekil 2.9). Çizici uç olarak 120° tepe açısına sahip konik bir uç ve 200 µm yarıçapa sahip küresel bir uç kullanmışlardır. Her bir test için çizilme uzunluğunun 4 mm olduğu ve sabit çizilme hızlarının 0,004 mm/sn ve 4,16 mm/sn arasında olduğu ve tüm testlerin 23 °C sıcaklıkta gerçekleştirildiği vurgulanmıştır. Sonuç olarak, MF'nin beklendiği gibi diğer polimerler arasında, elastisite modülü ve akma dayanımı değerlerinden dolayı en yüksek çizilme sertlik değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Diğer yandan, PE ve PB'nin, elastisite modülleri ve akma dayanımlarından dolayı düşük çizilme direnci sergilediği vurgulanmıştır [10].



Şekil 2.9. P. Kürkçü ve arkadaşlarının kullandığı test cihazı [10]

Tablo 2.1 ile, literatürde incelenen test cihazlarının çeşitli fonksiyonlar açısından karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 2.1. Literatürde incelenen test cihazlarının fonksiyonlarının karşılaştırılması

Test cihazı ve özellikler	**M. Wong et. al.**	**Q. Cheng et. al.**	**F. Wredenberg et. al.**	**S. Sinha et. al.**	**H. Jiang et. al.**	**B. Briscoe et. al.**	**CSM MST[3]**
Sabit yük testi	Mevcut (0-50 N)	Mevcut (0,5-140 N)	Mevcut (0-1500 N)	Mevcut	Mevcut (1-100 N)	Mevcut (0-20 N)	Mevcut (0-30 N)
Artan yük testi	Mevcut (0-100 N)	-	-	-	Mevcut	-	-
Sabit hız testi	Mevcut (0-400 mm/sn)	Mevcut (25 mm/sn)	Mevcut (1,8 mm/sn)	Mevcut (0,2 mm/sn ve 2 mm/sn)	Mevcut (1-100 mm/sn)	Mevcut (0-400 mm/sn)	Mevcut (0,0016-10 mm/sn)
Artan hız testi	Mevcut	-	-	-	-	-	-
Çoklu çizici	Mevcut	-	-	-	-	-	-
Veri yakalama	Mevcut	-	Mevcut	-	-	Mevcut	Mevcut
Sıcaklık kontrolü	Mevcut (-50 °C ila 100 °C)	-	-	-	-	-	Mevcut
Çizici uç tipi	-	1 mm çapta küresel çelik uç	Konik elmas uç	30° açılı konik karbon çelik uç	1 mm çapta küresel çelik ve tungsten karbür uç	30°-170° açılı konik yüksek hız çelik uç	Konik elmas uç
Hareketli kısım	Çizici takım	Çizici takım	Numune taşıyıcı tabla	Numune taşıyıcı tabla	Çizici takım	Numune taşıyıcı tabla	Numune taşıyıcı tabla

3. ÇİZİLMEYE GENEL BAKIŞ

3.1. Çizilmenin Tarihi

1812 yılında Avusturya'lı mineral bilimci Friedrich Mohs sertlik ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Kendi adını taşıyan Mohs sertlik skalasını geliştirmiştir. Bu skalada bazı mineralleri yumuşak olandan (en çok çizilen) sert olana (en az çizilen) doğru sıralamıştır. Mohs bu skalayı, sertliği bilinen minerallerle, sertliği belirlenmek istenen mineralin birbirine sürtülmesi sonucunda hangisinin çizildiği üzerine oluşturmuştur. Tablo 3.1 ile Mohs sertlik skalası verilmektedir [11-13].

Mohs'un oluşturduğu bu skalaya göre en yumuşak mineral 1 numara ile indeksli talk, en sert mineral ise 10 numara ile indekslediği elmastır. Buna göre elmas skaladaki tüm mineralleri çizebilen en sert mineraldir [11].

Tablo 3.1. Mohs sertlik skalası [11]

Mineral	Sertlik skalası
Talk (Talc)	1
Alçıtaşı (Gypsum)	2
Kireçtaşı, Kalsit (Calcite)	3
Florit (Fluorite)	4
Apatit (Apatite)	5
Ortoklas (Orthoclase)	6
Kuvars (Quartz)	7
Topaz (Topaz)	8
Alüminyum Oksit (Corundum)	9
Elmas (Diamond)	10

Friedrich Mohs'un mineraller üzerinden malzemelerin çizilme ve sertlik değerlerini belirlemeye yönelik yaptığı bu çalışmalar, günümüzdeki çizilme ile ilgili yapılan tüm çalışmalara referans sağlamıştır. Polimerik yüzeylerin çizilme deformasyonu, malzeme bilimi ve mekanik alanı içerisinde önemli bir araştırma alanı olmuştur.

Polimerlerin gittikçe genişleyen bir ürün yelpazesinde kullanılması aynı zamanda onların kullanım ömrü boyunca hasara dayanma kabiliyetini zorunlu kılmıştır. Düşük maliyetli ve hafif olması, istenen şekillerde ve yüzey dokularında kalıplanma kabiliyeti göstermesi, polimerlerin hızlı bir şekilde kullanıma alınması veya birçok uygulamada metallerle birlikte kullanılması şaşırtıcı bir gelişme olmamıştır [11].

3.2. Çizilmenin Önemi

Bir üründe estetiklik ve yüzey kalitesinin cezbedici olması, hem endüstriyel üreticilerin hem de tüketicilerin arzu ettiği belirleyici bir özelliktir. Tatmin edici bir yüzey kalitesi elde etmenin üreticiler için bir zorluk oluşturmasının yanında, kullanım ömrü boyunca yüzeyle ilgili kalitenin sürdürülebilirliğinin üstesinden gelinmesi ise daha büyük bir zorluk olarak ortaya çıkmaktadır [14, 15].

Polimer uygulamalarında yüzey kalitesi konusundaki endişe, genel olarak yüzey estetiği, yüzey bütünlüğü ve dayanıklılık olarak sınıflandırılabilir. Yüzey mekanik ve tribolojik özelliklerinin daha iyi anlaşılması ve kontrolü mühendislik polimerlerinin kullanımında önemli kaygılardır. Yüzey estetiği için yüzey çizikleri bazı ürünlerde yalnızca ürün cazibesini azaltırken, amaçlanan işlevleri büyük oranda etkilemez. Bu duruma örnek olarak, cep telefonları, bilgisayar ve televizyon ekranları, otomobil konsol panelleri, otomobil kaplamaları, gösterge panelleri ve benzerleri verilebilir. Bu tür ürünler için, yüzey çizikleri temel olarak ekipmanın işlevini ve kullanımını etkilememekle birlikte, ürün çekiciliğini önemli ölçüde azaltmaktadır [14-16].

Çizikler, bazı ürünlerde yüzey estetiğini bozarken aynı zamanda işlevsellik de zarar görür. Yüzey bütünlüğü, gıda ambalajı gibi uygulamalar için büyük bir endişe kaynağı olabilir. Yiyecek ve ilaçların ambalajlanması gibi uygulamalar, ambalaj malzemelerinin yüzey bütünlüğünü bir zorunluluk haline getirmektedir [15, 16]. Ambalaj filmleri üzerinde oluşan çizikler yırtılmalara sebep olabileceğinden dolayı paket içerisindeki ürünün hava alması kolaylaşarak ürünün zarar görmesine ve sonunda bozulmasına yol açar. Bu da maddi kayıpla sonuçlanan bir durumdur [16].

Ürünün kullanım ömrü boyunca yüzeyin sağlam kalması gereken kaplama ve veri depolama endüstrilerinde yüzey dayanıklılığı önemlidir. Sabit disk ve optik depolama aygıtlarındaki çizikler sebebiyle, ulaşılamayan ve kurtarılamayan verilerin

şirketlere ve kişilerin önemli kaynaklarına ve değerli çalışma saatlerinin israfına neden olabileceği veri depolama endüstrisinde, yüzey dayanıklılığı önceliklidir. Otomobil kaplamalarındaki bazı derin olmayan çizikler sadece estetik açıdan problem teşkil ederken, derine nüfuz etmiş çizikler ise alt tabakanın paslanmasına veya hasar görmesine yol açar. Bir çizilme deformasyonu sonucu oluşabilecek en büyük dezavantaj, çizik oluşumundan kaynaklanan stres konsantrasyon etkisidir. Bu çizikler, ürünlerin zaman içindeki yük taşıma kapasitelerini azaltan ve sonuçta erken kırılmaya neden olan stres konsantrasyon noktaları olarak işlev görebilmektedir. Böylece yıkıcı sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu nedenle ürünün kullanım ömrü boyunca kaplamaların sağlam kalması istenir [14-17].

Tüm bu alanlardaki endişeler için polimerlerin yüzey kalitesinin, dayanımının ve çizilmeye karşı göstereceği direncin önceden tespit edilebilmesi ile, ortaya çıkabilecek kötü senaryoların önüne geçilmiş olunacaktır. Polimer çizme çalışmasının amacı, verilen bir uygulama için en uygun malzemeyi bulmak veya bir polimer materyali için olası çizilme hasar mekanizmalarını önceden tahmin edebilmektir [16].

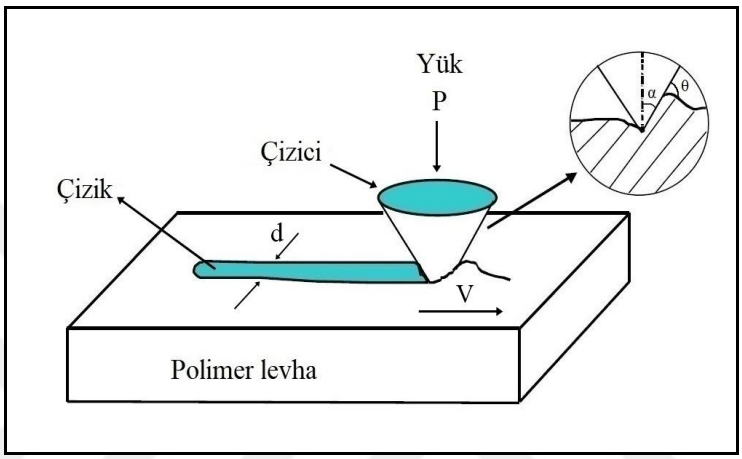
3.3. Çizilme Teorisi

Çizilme işlemi, küresel veya konik sert bir uca, kontrollü bir kuvvet veya yer değiştirmenin uygulandığı ve yüzey boyunca belirlenen bir hızda hareket ettiği mekanik bir deformasyon işlemi olarak tanımlanmaktadır [5, 16]. Geleneksel olarak, iz bırakma yöntemleri, polimerler dahil malzemelerin sertliğini karakterize etmek için kullanılır [4].

Sert bir nesne bir yüzeye temas ettirildiğinde ve yüzey boyunca hareket ettiğinde, bir çizik oluğu meydana gelir. Bu proses çizilme işlemi olarak adlandırılır ve Şekil 3.1 ile şematize edilmiştir. Birbirleriyle rölatif hareket halindeki yüzeylerin etkileşiminin bilimi ve teknolojisi olarak tanımlanan çizilme işlemi tribolojinin bir dalıdır. Çizilme işlemi ile bağlantılı olan sürtünme ve sertlik gibi iki nicelik vardır. Sürtünme, bir yüzeyin başka bir yüzey üzerinde hareket ettirildiğinde karşılaşılan direnç olarak düşünülebilir. Kayma sürtünme katsayısı μ, Eşitlik (3.1) ile belirtildiği üzere şu şekilde tanımlanabilir [11];

$$\mu = F/W \tag{3.1}$$

Yukarıdaki eşitlikte F, cismi karşı yüzey üzerinde hareket ettirmek için gereken teğetsel kuvvet, W normal yüktür. Polimerik yüzeylerdeki sürtünme katsayısı için en düşük değerlerden biri PTFE için hesaplanan 0,06 değeridir. En yüksek sürtünme katsayısı sergileyen polimerlerden biri olarak kabul edilen kauçuk için bu değer yaklaşık olarak 2'dir [11].



Şekil 3.1. Çizilme işleminin şematik gösterimi [6]

Şekil 3.1'de, V ile belirtilen parametre çizilme hızını, d çizilme sonucu oluşan kanalın (oluk) genişliğini, P uygulanan yükü, θ çizici ucun numune ile yaptığı açıyı, α çizici konik ucun normalle yaptığı açıyı göstermektedir [6].

Konik bir çizici uç için sürtünme katsayısı, Eşitlik (3.2) ile gösterilmiştir [6];

$$\mu = (2/\pi)\tan\theta \tag{3.2}$$

Bu eşitlikte, θ çizici ucun numune ile yaptığı açı, bir diğer ifadeyle atak açısıdır [6].

İz bırakma deneyi ile çizilme deneyi arasındaki temel fark; iz bırakma testinde batıcı ucun, temas alanı üzerinde eşit şekilde desteklenmesi ve sertliğin, malzemenin gösterdiği tepkiye yakın bir tepki olmasıdır. İz bırakma kuvveti, girintinin altındaki malzeme tarafından desteklendiğinden çevresinde çoğunlukla gerilme ile birlikte plastik deformasyona neden olan yüksek bir basma gerilmesi oluşturulur. Öte yandan bir çizici uç tarafından malzemelerin yüzeyi boyunca hareket ettirilerek gerçekleştirilen çizilme durumunda, çizici ucun arka yarısında çekme kuvveti görevi

gören teğetsel çizilme kuvveti nedeniyle önemli miktarda elastik/plastik deformasyon ve kırılgan çatlama meydana gelebilir [4, 6].

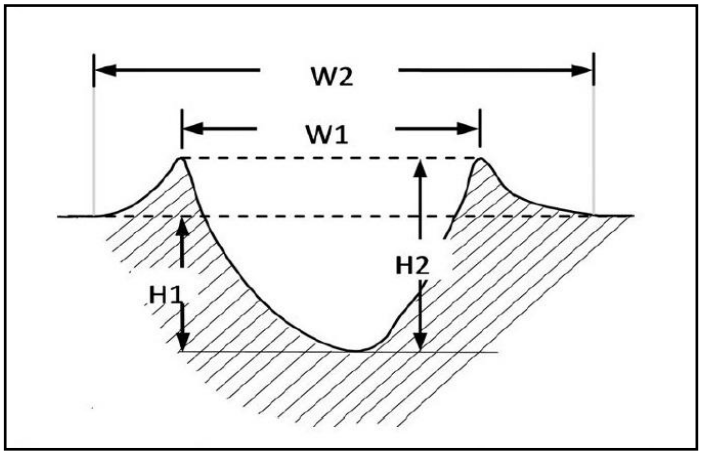
Sertlik, bir malzemenin diğer cisimler tarafından penetrasyonuna veya aşınmaya karşı göstermiş olduğu direnç olarak tanımlanır [18]. Sertliğin değerlendirilmesi kendi içinde üç başlık altında incelenebilmektedir. Bunlar; rezonans sertliği, girinti sertliği ve çizilme sertliğidir. Rezonans sertliği, sabit bir yükseklikten düşürülmüş çekiç sıçramalarının ölçülmesiyle değerlendirilir. Girinti sertliği, sert bir batıcı ucun belirlenen yükleme koşulları altında malzeme yüzeyine batırılması sonucu oluşan iz büyüklüğüne göre sertlik değerinin belirlendiği testtir. Çizilme sertliği, konik veya küresel bir çizici ucun, sabit veya değişken hızlarda ve yük koşullarında malzeme yüzeyi üzerine batırılarak bir yöne doğru hareket ettirilmesiyle oluşan çizik kanalının incelenmesine dayanarak yapılmaktadır [19].

Kusursuz bir plastik malzeme için deformasyondan sonra bir geri kazanım (iyileşme) olmaz ve bu nedenle çizici uç ileri doğru hareket ederken, çizici ucun arka yarı kısmı için bir destek (malzeme yığılması) yoktur. Buna karşılık, kusursuz bir elastik malzeme için tamamen bir geri kazanım olabilir ve bu nedenle çizici ucun arka yarı kısmı iyi bir şekilde desteklenecektir. Viskoelastik malzemeler için geri kazanılan malzeme, arka bölgedeki girintiye sadece kısmi destek sunacaktır. Bu destek malzemenin geri kazanım oranına ve uygulanan çizilme hızına bağlı olacaktır. Genel bir viskoelastik plastik malzeme durumu için polimerin tipik bir cevabı yani çizilme sertliği, Eşitlik (3.3) ile gösterildiği üzere şu şekilde belirlenebilmektedir [4, 6];

$$H_S = W/A_İ = q\,(4W/\pi d^2) \tag{3.3}$$

Burada H_S çizilme sertliği, $A_İ$ çizilme sonucu oluşan alan, W çizici uca uygulanan normal yük, d ortaya çıkan çizilme genişliği, q malzemenin çizilmeye karşı verdiği tepkiye göre değişen bir parametredir. Sert plastik malzemeler için "q" yaklaşık olarak 2 kabul edilir iken, viskoelastik malzemeler için 1'e yakındır [4].

Şekil 3.2 ile çizik kanalının profil görüntüsü şematik olarak gösterilmektedir. Burada H_2 ile H_1'in farkı omuz yüksekliği, W_2 ile W_1'in farkı ise omuz genişliğidir. Bir diğer ifadeyle, H_2 ve H_1 farkı kalıntı (enkaz) derinliğini, W_2 ile W_1 farkı ise plastik deformasyona uğramış bölgeyi temsil etmektedir [19, 20].



Şekil 3.2. Çizik kanalının kesit görünümünün şematik gösterimi [20]

3.4. Polimerlerde Çizilme Hasar Mekanizması

Polimerlerin hem test hem de çevre koşullarına bağlı materyal davranışına sahip oldukları gözlemlenmiştir. Çizilme performansı ve ortaya çıkan hasar özellikleri açısından bir polimer aşağıdaki faktörlerden önemli ölçüde etkilenebilir [21];

- Deneysel koşullar (yükleme koşulları, hız, sıcaklık)
- Çizici geometrisi (küresel, konik)
- Malzemenin doğasında var olan özellikler (elastisite modülü, akma dayanımı)

Genellikle bu faktörlere bağlı olarak, malzeme hasar özelliği sünek veya kırılgan bir hasar olarak ortaya çıkabilir. Polimerler malzeme karakteristiklerine bağlı olarak ve kritik normal yükün aşağısındaki çizilmelerde, çizilme işaretleri olmadan elastik olarak geri kazanım yapabilir [21].

Çizilme hızındaki artış, temasta önemli bir sürtünme ısısı üretecektir. Bu ısı malzemenin kalıcı olarak yer değiştirmesini kolaylaştırabilir. Sıcaklık arttığında, çizici uç malzemede daha derine nüfuz eder ve polimer termal olarak uyarıldığından dolayı yumuşayacağı için, çizici uç ve numune arasındaki temas alanı artar. Temas alanının artması ile, Eşitlik (3.3)'teki formülde $A_İ$ parametresinin artmasından dolayı çizilme sertliği azalacaktır. Sıcaklıktaki artış, elastik ve kırılgan tepkileri azaltırken, viskoelastik ve viskoplastik çizilme tepkilerini artırır [21].

Çizilme hasar mekanizması genelde temas geometrisine bir hayli derecede bağlıdır. Özellikle çizicinin atak açısı ve uç yarıçapı polimerlerin çizilme hasar mekanizmasını etkileyen ana geometri parametreleridir. Atak açısı ne kadar yüksekse deformasyon o kadar şiddetlidir ve dolayısıyla giderek kırılgan hasar modları üretilir. Çizici ucun önündeki maksimum kayma gerilmesi ile arkasındaki maksimum çekme gerilmesi arasındaki fark, çizilme esnasındaki deformasyon mekanizmasını saptamak için önemlidir [21].

Malzemenin özünde var olan elastisite modülü ve akma dayanımı gibi karakteristikler, deformasyon bölgesinin boyutunu, geri kazanım miktarını ve deformasyon modunu etkiler. Ayrıca, polimerlerin akma dayanımı ve elastisite modülüne bağlı olarak, temas bölgesinin yarıçapı, nüfuz derinliği ve plastik bölge boyutu değişecektir. Bununla birlikte, mekanik özelliklerin etkilenmesi için malzeme özelliklerinin (örneğin, molar kütle dağılımı) her değişimi, hem çizilme direnci hem de deformasyon modu üzerinde etkili olacaktır. Bir polimerik malzemenin tribolojik özelliklerini geliştirmek için şu olasılıklar vardır [21];

- Polimerin moleküler yapısında değişiklik yapmak (kristallenme derecesi)
- Polimerlerin harmanlanması
- Çeşitli dolgu maddeleri ile polimer kompozitlerin üretilmesi

Çizilme testi, tribolojinin abrazyon başlığı altında incelenebilir. Tanımı gereği, bir materyal yüzeyine belirli bir yük altında aşındırıcı bir madde bastırılarak ve belirli bir hızda sürüklenerek deforme etme işlemi olarak adlandırılan çizilme testi abrazif aşınmanın tek geçişli türüdür. Zira, çizilme testinde gözle görülebilen miktarda olmasa da mikro veya nano ölçekte bir aşınma olayı meydana gelmektedir.

Polimerlerin çoğu aşınmaya dayanıklı malzemeler olarak kullanılmak üzere tasarlanmamıştır ve genellikle bu amaç için uygun da değildir. Bazı katkı maddeleri ile harmanlanması sonucu çizilme ve aşınma kabiliyetlerinde iyileştirmeler yapılabilmektedir. Yine de bazı polimerler değerli tribolojik özelliklere sahiptir ve çoğu araştırma bu sınırlı sayıdaki polimerlere yöneliktir. Bazı tipik polimerlerin temel tribolojik özellikleri ve uygulama alanları Tablo 3.2 ile verilmiştir [22].

Tablo 3.2. Tipik polimerlerin tribolojik özellikleri ve uygulama alanları [22]

Polimer	**Tribolojik özellik**	**Tipik uygulamaları**
Politetrafloretilen (PTFE)	Her türlü ortamda kimyasal olarak kararlı, mükemmel elektriksel özellikler, düşük sürtünme katsayısı	Yapışma önleyici kaplamalar, kimyasal boru ve valfler, yataklar
Naylon (Poliamit)	İyi mekanik dayanım, aşınma direnci ve tokluk, düşük sürtünme katsayısı	Yataklar, dişli çarklar, kamlar, kablo ve teller için kaplamalar
Polietereterketon (PEEK)	Kimyasal reaksiyonlara ve yüksek sıcaklığa karşı direnç, saf halde yüksek aşınma direnci, mükemmel biyouyumluluk	Otomotiv, dental ve ortopedik implant, uçak kanadı, motor ve yakıt sistemleri
Ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE)	Çok yüksek aşınma direnci, birçok kimyasala karşı yüksek direnç, düşük su emme kapasitesi	Farlar ve silecekler, eskrim giysileri, kesme dirençli eldivenler
Poliüretan (PUR)	Düşük ısıl iletkenlik katsayısı, nem ve su tutabilme, organizmalara karşı dayanıklı, asit direnci	Bina yalıtımı, ayakkabı, mobilya ve yatak takımları, kaplamalar ve yapışkanlar
Polikarbonat (PC)	Düşük su emiciliği, şeffaflık, hafiflik, çizilme direnci, çok yüksek darbe direnci ve süneklilik, kimyasal dayanımı kötü	Koruyucu kasklar, mercekler, fotoğraf filmi altlığı, otomobil lambaları, cep telefonu ve bilgisayar kasaları
Polietilen (PE)	Kimyasal olarak dirençli ve elektriksel olarak yalıtkan, tok ve düşük sürtünme katsayısı, düşük dayanım	Esnek şişeler, oyuncaklar, bardaklar, buz kapları, kaplama film malzemeleri

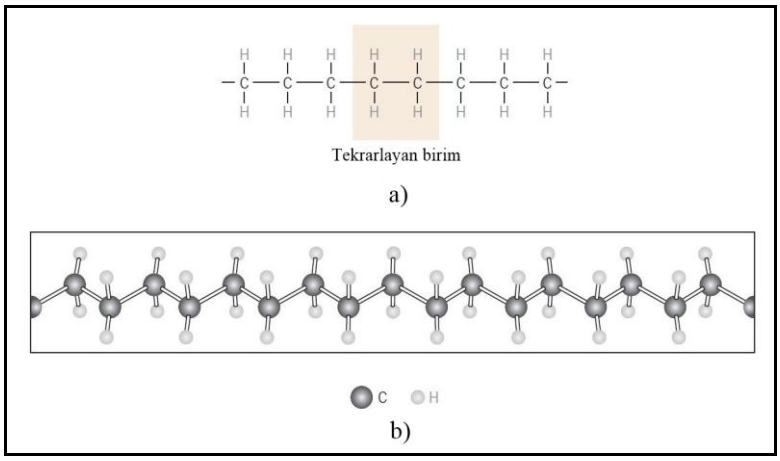
4. POLİMERİK MALZEMELER

4.1. Polimerik Malzemelere Genel Bakış

Hayvan ve bitkilerden elde edilen ağaç, kauçuk, pamuk, yün, deri ve ipek gibi doğal polimerler yüzlerce yıldır kullanılmaktadır. Protein, enzim, nişasta ve selüloz gibi diğer doğal polimerler ise bitki ve hayvanların biyolojik ve fizyolojik süreçleri için önemlidir. Modern bilimin ulaştığı bugünkü imkanlar, bu malzemelerin moleküler yapılarının belirlenmesini ve bu sayede mevcut moleküllerden çok sayıda yeni polimerlerin sentezlenerek gelişmesini sağlamıştır [22].

Günümüzde kullandığımız pek çok plastik, kauçuk ve elyaf, polimer senteziyle elde edilen ürünlerdir. II. Dünya Savaşı'nın bitmesinin ardından malzeme dünyasında sentetik polimerler sayesinde tam anlamıyla bir devrim yaşanmıştır. Bu sentetik polimerler ucuz bir şekilde üretilebilmektedir ve özellikleri açısından da doğal emsallerine göre önemli üstünlüklere sahiptir. Polimerik malzemelerin daha ucuz ve benzer özellikleri sağlaması nedeniyle, bazı uygulamalarda metal ve ahşap, yerini plastiğe bırakmıştır [22]. Polimer kelimesi, literatüre Yunanca'dan dahil olmuş bir kelimedir ve çoklu parçalar anlamı taşımaktadır. Polimerler, monomer diye adlandırılan küçük birimlerden oluşan makromoleküllerdir. Çok sayıda monomer birimleri yan yana gelerek bir zincir oluşturur. Oluşan zincir şekline göre polimerlerin dayanımları, fiziksel özellikleri değişkenlik göstermektedir.

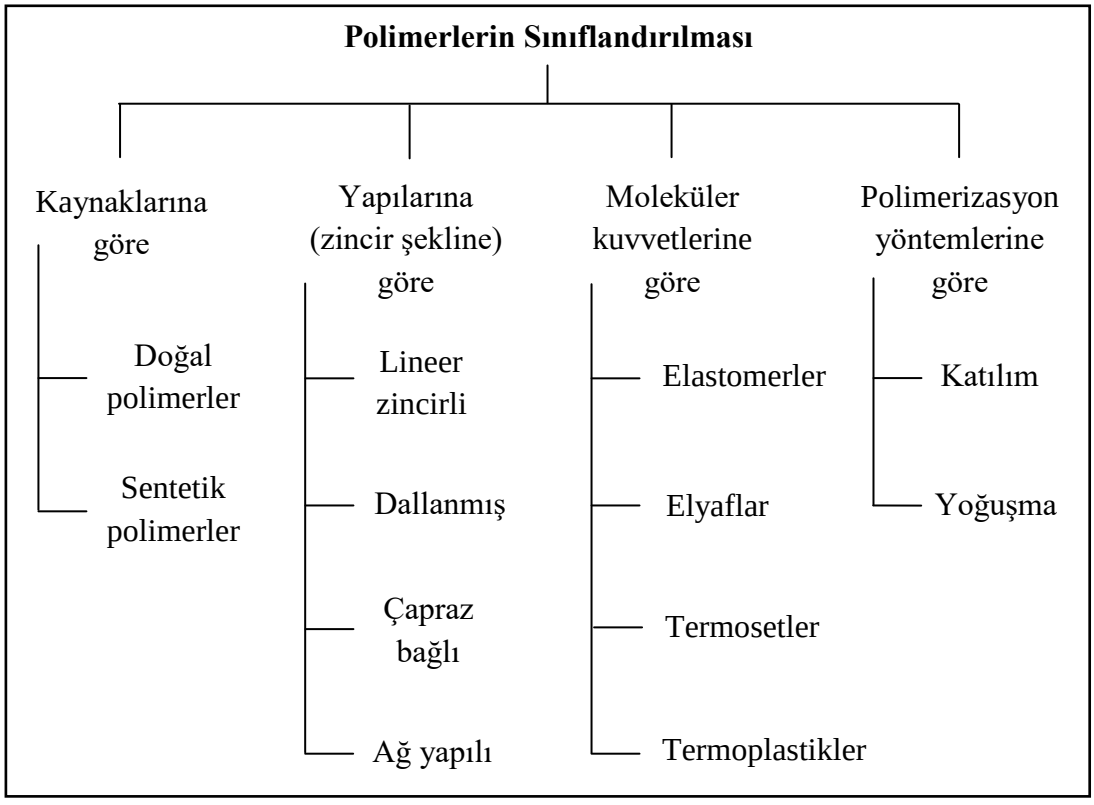
Polimerlerin omurgasını karbon atomlarının birbirine bağlanmasıyla meydana gelen zincir yapıları oluşturur. Şekil 4.1 ile PE'nin (C_2H_4) şematik ve üç boyutlu zincir yapısı gösterilmektedir. Monomerlerden oluşan uzun polimer molekülü bir zincire, monomer molekülleri ise zinciri oluşturan halkalara benzetilebilir. Bu nedenle, polimer molekülü yerine çoğunlukla polimer zinciri kavramı kullanılır. Polimerlerin fiziksel özellikleri yalnızca molekül ağırlığı ve şekline değil, aynı zamanda molekül zincirlerinin yapısına da bağlıdır [22, 23].



Şekil 4.1. Polietilenin, a) Zincir yapısının şematik gösterimi, b) Zigzaglı omurga yapısını gösteren molekülün perspektif görünümü [22]

4.2. Polimerik Malzemelerin Sınıflandırılması

Polimerler için birçok sınıflandırma yöntemi yapılmıştır. En basit şekliyle doğal ve sentetik olarak iki gruba ayrılabilirler. Daha kapsamlı olarak Şekil 4.2'de gösterildiği gibi; kaynaklarına, yapılarına (zincir şekillerine), moleküler kuvvetlerine ve polimerizasyon yöntemlerine göre de sınıflandırılabilirler [22].



Şekil 4.2. Polimerlerin sınıflandırılması [22]

4.2.1. Kaynaklarına göre

Doğal polimerler çevremizde bulunabilen polimer bileşikleridir. Temelde polisakkarit, poliamit, polinükleotit olarak üç türde bulunurlar. Sentetik polimerler, doğal polimerlerden esinlenilerek sentezlenen yapay bileşiklerdir ve başlıca petrol yağından üretilmektedir. Laboratuvarlarda veya fabrikalarda çeşitli kimyasal reaksiyonlar kullanılarak imal edilmektedirler [24, 25].

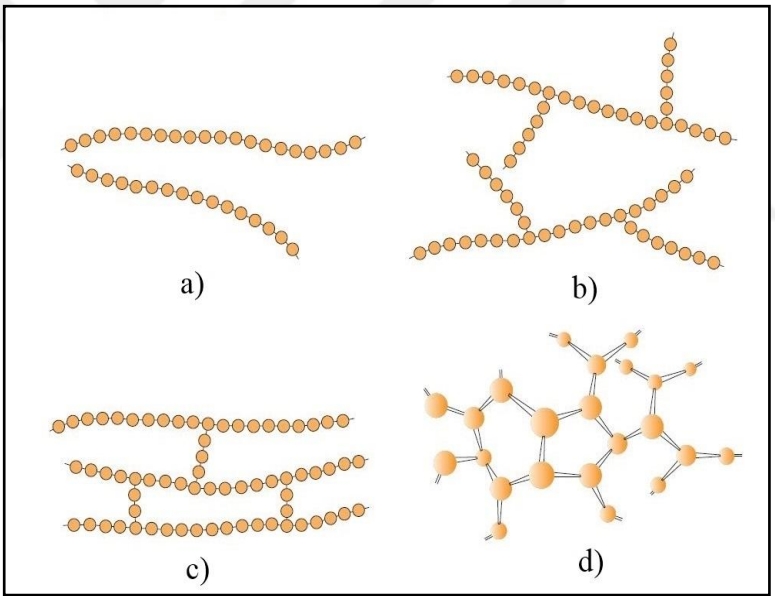
4.2.2. Zincir şekillerine göre

Lineer moleküllerde (Şekil 4.3a), zinciri oluşturan birimlerin arasında çok kuvvetli kovalent bağlar bulunmaktadır. Bu bağlar zincirin mukavemetini sağlamaktadır. Moleküller arasında ise fiziksel bir bağ bulunmamaktadır, sadece zincirleri birbirine göre yakın tutan zayıf elekstrostatik çekme (Van der Waal's) kuvvetleri vardır. Bu moleküller arası kuvvet, zincirlerin birbirine göre hareketini engelleyen, ısıya karşı duyarlı bir kuvvettir. Lineer zincirlerden oluşan bir termoplastik ısıtıldığında moleküller arası kuvvet zayıflar, molekül zincirleri birbirine göre hareket bakımından sıvılara benzer bir şekilde serbest hale gelir ve malzemeye bir kalıpta kolayca istenilen şekil verilebilir. Zincirler arası mesafe küçüldükçe, zincirler arası çekme kuvveti artar ve malzeme daha mukavim bir hal alır. Zincirlerin birbirine yaklaşmasında lineer ve dallanmış olması büyük önem taşır. Lineer zincirler birbirine daha çok yaklaşabilir, aralarındaki çekme kuvveti daha büyük olur ve dolayısıyla, sıkı paketlenmiş bir yapı dahi oluşturabilirler [26]. Polietilen, polivinilklorür, polistiren, polimetil metakrilat ve naylon lineer zincir yapısına sahip polimerlerden bazılarıdır [22].

Polimerler, Şekil 4.3b'de şematik olarak gösterildiği gibi, zincire yandan bağlanmış dallanmalarla da sentezlenebilir. Bunlara şekliyle de uyumlu olarak dallanmış polimer adı verilir. Dallar, ana zincir molekülünün parçası olarak düşünülebilir. Dallanmış zincirler birbirine çok yaklaşamazlar, moleküller arası çekme kuvveti zayıf kalır ve gevşek paketlenmiş amorf (düzensiz) bir yapı meydana getirirler. Yan dalların oluşmasıyla zincirlerin paketlenme verimliliği ve polimerin yoğunluğu düşer. Dallanma ile polimer malzemenin yoğunluğu arasında sıkı bir bağıntı vardır. Az dallı zincirler birbirlerine daha çok yaklaştıkları için daha yoğun; dallanmış

zincirler birbirinden daha uzak kaldıkları için yoğunluğu daha düşük bir malzeme oluştururlar. Düşük yoğunluklu polietilen dallanmış polimere örnektir [22, 26].

Çapraz bağlı polimerlerde, komşu lineer zincirler Şekil 4.3c'de gösterildiği gibi birbirine değişik yönlerde kovalent bağlarla bağlanırlar. Genellikle bu çapraz bağlanma, zincirlere kovalent bağla bağlanacak atom veya molekül ilavesiyle sağlanır. Birçok elastik kauçuk vulkanizasyon adı verilen sertleştirme yöntemiyle çapraz bağlı hale getirilir ve böylece dayanımları artırılır [22]. Çapraz bağlı polimerler çözünmezler, ancak uygun çözücülerde belli oranda şişebilirler. Şişme oranı, çapraz bağ yoğunluğuyla yakından ilişkilidir. Çapraz bağ yoğunluğu arttıkça polimerin çözücüdeki şişme derecesi azalır ve yoğun çapraz bağlanmada polimer çözücülerden etkilenmez. Düşük oranda çapraz bağ, kauçuğumsu davranış için önemli bir kriterdir [23].

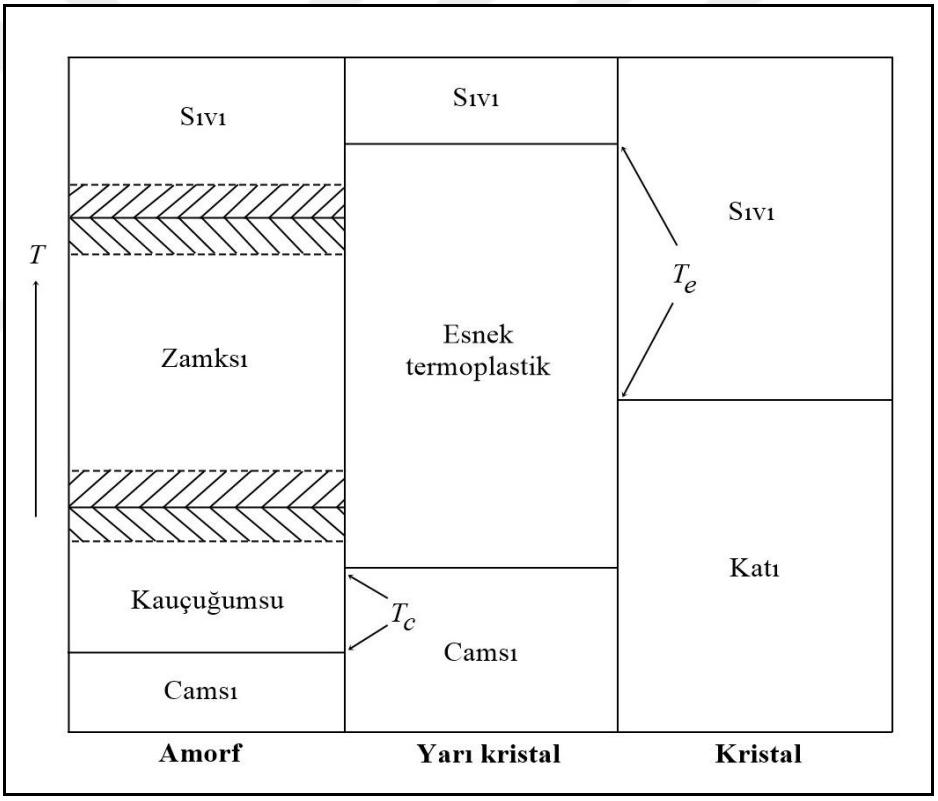


Şekil 4.3. Molekül yapılarının şematik gösterimi, a) Lineer, b) Dallanmış, c) Çapraz bağlı, d) Ağ yapılı [22]

Yoğun şekilde çapraz bağa sahip polimerlere ağ yapılı (Şekil 4.3d) polimer adı verilir. Yapıyı oluşturan tüm moleküller, birbirlerine sıcaklığa karşı tersinir olmayan, kuvvetli bağlarla bağlıdır. Molekül zincirleri arasında oluşan yoğun çapraz bağlar ancak çok yüksek sıcaklıklarda kopabilir, bu kopma aynı zamanda malzemenin yıpranmasına neden olan zincirlerin kopması anlamına da gelmektedir. Bu nedenle termosetler bir kere şekillendirildikten sonra, tekrar ısıtılıp yumuşatılamazlar. Bir bakıma termoplastiğin davranışı balmumunun davranışına, termosetlerinki ise

yumurtanın davranışına benzetilebilir. Balmumu, defalarca kez ısıtılarak çeşitli şekiller alabilir. Yumurta ise bir kez pişirildikten sonra, tekrar ısıtılırsa yumuşamaz ve dolayısıyla başka bir şekil alamaz [26]. Bu gruba ait epoksi, poliüretan ve fenol-formaldehit gibi malzemeler kendilerine özgü mekanik ve ısıl özelliklere sahiptir. Genellikle polimerler, yalnız bir tür polimere ait özelliklerden ibaret değildir. Örneğin, lineer yapıdaki polimerlerde az da olsa dallanma ve çapraz bağ yapısı bulunabilmektedir [22].

Polimerler; kristal ve üç farklı amorf yapı (camsı, viskoelastik, viskoz akış) olmak üzere, toplamda dört fiziksel durum içinde bulunabilirler. Bu amorf yapıların ısıl geçiş sırasındaki hal değişimleri Şekil 4.4 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Amorf, yarı kristal ve kristal maddelerde ısıl geçişler sırasında gözlenen davranış değişiklikleri [23]

Polimerik malzemelerde, kristalleşme, ergime ve camsı geçiş özellikleri, tasarım ve üretim aşamaları için oldukça önemli kavramlardır. Kristalleşme, rastgele yapıdaki sıvı moleküllerin soğuma ile düzenli faza (katı) dönüştüğü işlemdir. Ergime ise bunun aksine ısıtma sırasında meydana gelen bir işlemdir. Camsı geçiş kavramı, amorf veya kristalleşemeyen polimerlerde görülen, soğuma sırasında sıvı eriyikten

katılaşan yapının sıvı hale özgü düzensiz molekül yapısının korunduğu durumdur. Doğal olarak, bu üç durumda da mekanik ve fiziksel özellikler değişikliğe uğrar [22].

Polimerlerin ısı karşısındaki davranışları, yapılarında amorf ya da kristal bölgelerin varlığıyla yakından ilişkilidir. Amorf polimerler yeterince düşük sıcaklıklarda cam gibi sert ve kırılgandır. Böyle bir polimer ısıtıldığında camsı geçiş sıcaklığı (T_c) adı verilen bir sıcaklıkta yumuşar ve kauçuk özellikler gösterir. Polimerin camsı geçiş sıcaklığı üzerinde ısıtılması sürdürülürse, kauçuğumsu davranışı terk ederek zamk görüntüsü üzerinden yeterince yüksek sıcaklıklarda sıvı halini alır. Ancak kauçuğumsu, zamksı ve sıvı davranış değişiklikleri arasında kesin sıcaklık değerleri yoktur, geçişler derecelidir. Örneğin, amorf ve kırılgan olan cam, camsı geçiş sıcaklığına kadar ısıtıldığında yumuşamaya başlar, biraz daha yüksek sıcaklıklarda şekillendirilecek kıvama gelir ve ileri ısıtmada sıvı gibi davranır [23].

Yarı kristal polimerlerin örgüsünde amorf ve kristal bölgeler birlikte bulunur. Bu polimerler camsı geçiş sıcaklıkları altında amorf polimerler gibi kırılgandır ve kırılganlık özelliklerini camsı geçiş sıcaklığına kadar korurlar. Camsı geçiş sıcaklığı geçildiğinde belli derecede yumuşaklık kazanmakla birlikte kristal yapılarından dolayı esnek termoplastik davranış gösterirler. Yapıdaki kristal bölgeler, amorf bölgeler için çapraz bağlayıcı görevi yaparak polimer örgüsünü sıkıca bir arada tutar. Bu nedenle yarı kristalin polimerler ergime sıcaklığına kadar (T_e) esnek termoplastik özelliklerini değiştirmezler ve ergime sıcaklığında kristal yapıları yıkılarak viskoz bir sıvı halini alırlar [23].

Tam kristal polimerler serttir ve amorf bölgeler bulunmadığından camsı geçiş göstermezler. Ergime sıcaklıklarına ulaşıldığında kristal yapı yıkılır ve polimer erir. Fakat yapısı %100 kristal olan bir mühendislik polimeri yoktur. Tam kristal yapıdaki polimer örnekleri yalnızca laboratuvarlarda uygun koşullarda hazırlanabilir. Yaygın olarak kullanılan bazı polimerik malzemelerin camsı geçiş ve ergime sıcaklık değerleri Tablo 4.1 ile verilmiştir [22, 23].

Tablo 4.1. Yaygın olarak kullanılan bazı polimerik malzemelerin camsı geçiş ve ergime sıcaklık değerleri [22]

Malzeme	Camsı geçiş sıcaklığı [°C (K)]	Ergime sıcaklığı [°C (K)]
Polietilen (düşük yoğunluk)	-110 (163 K)	115 (388 K)
Politetrafloretilen	-97 (176 K)	327 (600 K)
Polietilen (yüksek yoğunluk)	-90 (183 K)	137 (410 K)
Polipropilen	-18 (255 K)	175 (448 K)
Naylon 6,6	57 (330 K)	265 (538 K)
Polietilen Teraftalat	69 (342 K)	265 (538 K)
Polivinilklorür	87 (360 K)	212 (485 K)
Polistiren	100 (373 K)	240 (513 K)
Polikarbonat	150 (423 K)	265 (538 K)

4.2.3. Moleküler kuvvetlerine göre

Polimerin yüksek sıcaklıklardaki mekanik davranışı, baskın olan moleküler yapısına bağlıdır. Bu nedenle, polimerlerin bir başka sınıflandırması da artan sıcaklıklardaki davranışlarına göre yapılır. Zincir yapılarında belirtildiği gibi termoplastikler, ısıtıldığında yumuşar, ısıtılmaya devam edilirse sıvılaşır ve soğutulduğunda sertleşir. Yani süreç tamamen geri dönüşlü ve tekrar edilebilirdir. Moleküler seviyede sıcaklık yükseldikçe, ikincil bağlar, artan molekül hareketleriyle azalır ve uygulanan gerilmenin etkisiyle komşu moleküller arasında göreceli hareket başlar. Geri dönüşsüz bozulma, erimiş polimerin çok yüksek sıcaklıklara çıkarılmasıyla oluşur. Dahası, termoplastiklerin çoğu kısmen yumuşaktır. Çoğu lineer polimerler ve esnek zincir yapısına sahip dallanmış yapılı polimerler termoplastiktir. Yaygın olarak bilinen termoplastikler; polietilen, polistiren, polietilen teraftalat ve polivinilklorürdür [22].

Termoset polimerler ağ yapısına sahip polimerlerdir, şekillendirme sırasında kalıcı olarak sertleşir ve ısıtıldıklarında yumuşamazlar. Ağ yapılı polimerlerde komşu zincirler birbirlerine kovalent çapraz bağla bağlanır. Isıl işlemler sırasında bu bağlar, zincirleri birbirine sabitler ve yüksek sıcaklıkta moleküllerin titreşimine ve dönüşüne izin vermez. Bu nedenle ısıtıldıklarında yumuşamazlar. Termosetler genellikle termoplastiklere göre daha sert ve dayanıklı, aynı zamanda da daha iyi boyutsal

kararlılığa sahip malzemelerdir. Epoksi, fenol-formaldehit, polyester gibi polimerler termosetlere örnektir [22].

Elyaf polimerler, uzunluğun çapa oranı en az 100:1 olan uzun lif olarak çekilebilme kapasitesine sahiptir. Çoğu ticari elyaf polimerler tekstil endüstrisinde dokunmuş veya örülmüş olarak kumaşlarda kullanılır. Elyaf malzemenin molekül ağırlığı yüksek olmalıdır, aksi takdirde eriyik malzeme çok zayıf olup, çekme işlemi sırasında kopabilir. Kıyafetlerin yıkama ve bakım kolaylığı öncelikle, ergime ve camsı geçiş sıcaklıklarından oluşan elyafın ısıl özelliklerine bağlıdır. Elyaf polimerler; asitler, bazlar, çamaşır suları, kuru temizleme çözücüleri ve güneş yanığı gibi birçok farklı ortam şartlarında kimyasal açıdan kararlı olmalıdır [22]. Elyaflar, polimerlerin gruplandırılmasına benzer şekilde kaynağı göz önüne alınarak doğal, yarı sentetik ve sentetik olarak üç gruba ayrılırlar. Doğal elyaflar, doğada lif geometrisinde bulunur ve ön temizleme işleminden geçirildikten sonra doğrudan iplik yapımı ya da dokuma amacıyla kullanılırlar. Pamuk, ipek, yün, keten doğal elyaflara birer örnektir. Doğal elyafları oluşturan polimerin üretiminde ya da bu polimere lif şeklinin verilmesinde insan emeği söz konusu değildir. Yarı sentetik elyaflarda, lifi oluşturan polimer doğal kaynaklardan sağlanır, polimere lif geometrisi insanlar tarafından verilir. Yarı sentetik elyafların içerisinde ticari açıdan en önemlisi, üretiminde doğada en çok bulunan polimer olan selülozun kullanıldığı rejenere selülozik liflerdir. Sentetik elyaflar, laboratuvarlarda insanlar tarafından üretilen ve bu polimere lif geometrisi yine insanlar tarafından verilen elyaflardır. Üretimlerinde sentetik polimerler kullanılır ve sentetik polimerlerin temel kaynağı olan petrol aynı zamanda sentetik elyafların da temel kaynağıdır. Naylon 6,6 sentetik elyaflara bir örnektir ve dikiş ipliği, paraşüt bezi, kadın giyim eşyaları yapımında kullanılmaktadır. Aynı zamanda kurşun geçirmez yeleklerin yapımında kullanılan Kevlar, aromatik poliamit yapısında bir polimerdir [23].

Bazı polimerler yapısal özellikleri gereği yüksek elastikiyet gösterebilmektedir. Elastikiyet, yük etkisinde şeklini (boyutlarını) değiştirmiş olan herhangi bir malzemenin, yük kaldırıldığında ilk şekline dönme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Kauçuğumsu özellik taşıyan bu tür polimerlere elastomer adı verilir [23]. Elastomerlerin ilgi çeken en önemli özelliği, kauçuğa benzeyen elastik özelliğe sahip olmalarıdır. Bu özellik sayesinde çok büyük şekil değişimi sonrası, elastik olarak

geriye toparlanarak ilk şekline tekrar kavuşma yeteneğine sahiptirler. Bu özellik, polimerdeki çapraz bağların zincirleri eski düzenine geri dönmesini sağlayan kuvvetler sayesinde gerçekleşir. Gerilmesiz durumda bir elastomer, yoğun şekilde burulmuş, kıvrılmış ve sarılmış çapraz bağlı molekül zincirlerinden oluşan amorf yapıdadır. Çekme yükü uygulanması durumunda, elastik şekil değişimi sırasında kısmi olarak sarımlar açılır, burulmalar çözülür ve zincirler düzelerek, zincirlerin çekme doğrultusunda uzaması ile son bulur. Gerilmenin kaldırılması durumunda zincirler şekil değişimi öncesi düzenine geri döner ve makroskopik boyutta parça ilk boyutuna gelir [22]. Elastomerlerdeki çapraz bağ düzeyi (ağ yapı) termosetlerdeki kadar yoğun değildir. Az orandaki çapraz bağ, polimer zincirlerinin üzerlerine yapılan yüklemelerde birbirlerinden ayrılmalarını engelleyerek kalıcı deformasyonu önler [23].

4.2.4. Polimerizasyon yöntemlerine göre

Ticari olarak kullanılabilir polimerlerin büyük makromolekülleri polimerizasyon adı verilen işlemle küçük moleküllere sahip maddelerden sentezlenir. Basitçe, monomerlerin bağlanarak tekrarlayan birimlerden oluşan uzun zincirleri meydana getirmesi işlemidir. Polimerizasyonu meydana getiren reaksiyonlar, katılım ve yoğuşma olmak üzere ikiye ayrılır. Katılım polimerizasyonu, zincir reaksiyonu polimerizasyonu olarak da adlandırılır. Monomer birimleri lineer makromoleküller meydana getirmek üzere her defasında bir adet olacak şekilde zincire bağlandığı reaksiyondur. Sonuçta oluşan ürün molekülünün bileşimi, reaksiyona giren orijinal monomerlerin tam olarak çoğaltılmış halidir. Katılım reaksiyonu polietilen, polipropilen, polivinilklorür, polistiren gibi polimerlerin sentezinde kullanılır. Yoğuşma polimerizasyonu adım reaksiyonu olarak da adlandırılmakla birlikte birden fazla monomerin katıldığı ve adım adım gerçekleşen moleküller arası reaksiyonla meydana geldiği işlemdir. Tekrarlayan birimin kimyasal formülü reaksiyona giren tarafla aynı değildir ve her moleküller arası reaksiyonun gerçekleştiği yeni bir tekrarlayan birim oluşur. Örneğin, polietilen teraftalat, termoset polyesterler, naylonlar, polikarbonatlar, fenol-formaldehit yoğuşma polimerizasyonu ile üretilirler [22].

5. TASARIM SÜREÇLERİ

5.1. Tanım ve Özellikler

Tasarım, geniş bir bilgi ve beceri gerektiren, geri bildirimlere açık, yeni beğeni ve kullanım ölçütlerinin oluşturulduğu disiplinlerarası bir çaba alanıdır. İcatta olduğu gibi sorun sınırlama, önerme ve alternatif çözümler üretme süreci olarak konu hakkında bir düşünce edinmenin en iyi yoludur. Uluslararası Endüstriyel Tasarım Toplulukları Konseyi'ne (ICSID) göre ise tasarım, tüm yaşam döngüleri içindeki nesnelerin, süreçlerin, hizmetlerin ve sistemlerin çok yönlü niteliklerini kurmayı amaçlayan yaratıcı bir faaliyettir. Endüstriyel tasarım, gerek kullanıcı gerekse imalatçının iki taraflı faydasına olacak şekilde mamullerin ve sistemlerin işlevini, değerini ve görünüşünü en uygun hale getiren kavramları, özellikleri oluşturan ve geliştiren profesyonel bir hizmettir [27].

Tasarım, aşağıda verilen unsurlardan dolayı ilginç bir mühendislik faaliyetidir [28];

- İnsan hayatının hemen hemen tüm alanlarını etkiler,
- Bilimin yasalarını ve öngörülerini kullanır,
- Özel deneyime dayanır,
- Çözüm fikirlerinin fiziksel olarak gerçekleştirilmesi için ön koşulları sağlar,
- Profesyonel bütünlük ve sorumluluk gerektirir.

Tüm bilimsel veya teknolojik araştırma ve buluşların ortak amacı, insanlığa daha iyi bir gelecek sunmaktır. Gerek bilimsel araştırmaların yapılması ve de gerekse bulguların insanlığın hizmetine sunulmasında tasarım çok kritik bir yere ve öneme sahiptir. Diğer bir ifade ile tasarım, birçok bilim dalı veya disiplinin bir arada uygulandığı yaratıcı bir faaliyet alanı olup faydalı mamul geliştirmeyi amaçlar. Bu faaliyet alanı da; makine, elektronik, mimari, mobilya, kimya gibi birçok farklı konu veya uygulama dalına hitap edebilir. Makine tasarımı ele alınacak olursa; otomotivden tarım makinelerine, uçak parçalarından uzay parçalarına, robotlardan bilgisayar bileşenlerine kadar değişen çok geniş bir uygulama yelpazesini kapsar.

Demek oluyor ki, makinecilik alanı veya tasarımı, diğer tüm alan veya teknolojiler üzerinde hayati bir yere sahiptir ve insan hayatının hemen her safhasında etkisini gösterir. Oldukça karmaşık ve yüksek dereceli yaratıcılık gerektiren tasarım, fonksiyonel uzayda tanımlanan ihtiyaçları fiziki çözüm uzayında optimum şekilde karşılamak amacı ile yürütülen faaliyetler bütünü olarak tanımlanabilir [29].

Mühendislik tasarımı oldukça geniş ve kapsamlı bir uygulama alanına sahiptir. Bu sebeple şu dört çeşide ayrılabilir [29];

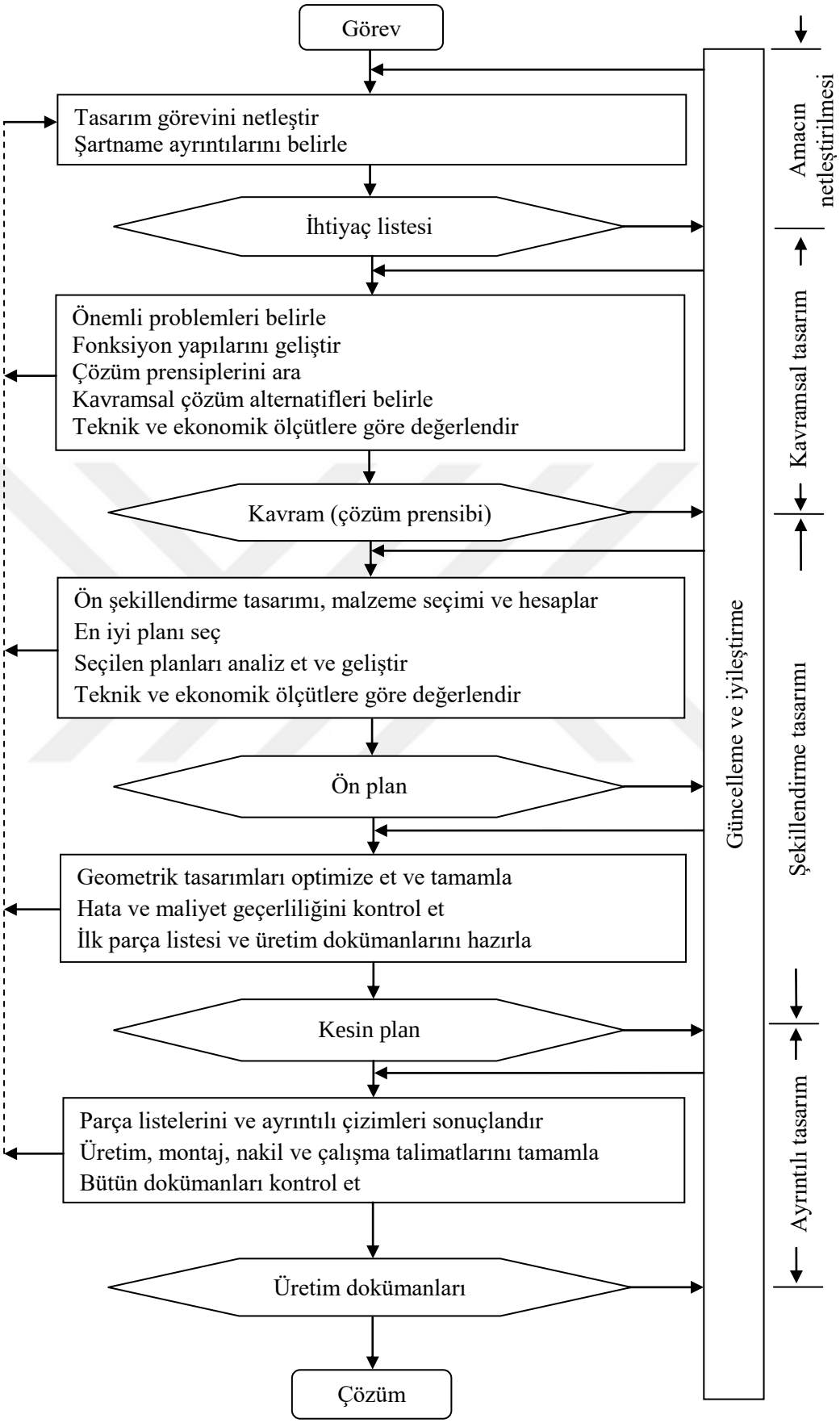
1) Özgün (orijinal) tasarımlar; aynı, benzer veya yeni bir amaçla orijinal bir çözüm prensibi uygulamayı içerir. Burada oldukça fazla yenilik ve yaratıcılık gerekir.
2) Adapte (uyarlanmış) tasarımlar; daha önce bilinen bir çözümü yeni bir tasarımda uyarlamayı kapsar.
3) Geçiş tasarımları; gerekli bazı düzeltme veya iyileştirmelerle mevcut bir ürünün geliştirilmesidir.
4) Değişken (büyültülebilir) tasarımlar; fonksiyon veya çözüm prensibi aynı kalmak koşulu ile sistemin boyut veya oluşumunu değiştirmeyi içerir.

Burada dört farklı tasarım çeşidinden bahsedilmekle birlikte bunların her zaman kesin sınırları tayin edilemeyebilir. Gerçekte her tasarım, soyuttan somuta döngüsel ve gittikçe ayrıntılaşan bir şekilde gelişir ve değişir [29].

5.2. Sistematik Mühendislik Tasarımı

Tasarımı bilimsel temellere ve izlenmesi gereken bazı kurallara bağlamayı amaçlayan Sistematik Mühendislik Tasarımı (SMT); amacın netleştirilmesi, kavramsal tasarım, şekillendirme tasarımı ve ayrıntılı tasarım aşamalarından oluşmaktadır. Bunlardan çok kritik bir öneme sahip olan kavramsal tasarım aşaması, bazı farklı tasarım alternatifleri oluşturma ve aralarından en uygun bir veya birkaçını seçmeyi içerir [30].

Sistematik mühendislik tasarım işlem aşamalarının nasıl adım adım organize edildiği ve uygulandığı Şekil 5.1 ile gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Tasarım işlem basamakları [30]

Şekil 5.1 ile verilen tasarım işlem adımları, aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

5.2.1. Amacın netleştirilmesi

Ürün planlama departmanından gelen bir ürün önerisi veya özel bir müşteri siparişine dayalı görev oluşuna bakılmaksızın, ürün geliştirme işlemi başlamadan önce verilen görevi daha ayrıntılı netleştirmek gerekir. Bu görevi açıkça belirlemekteki amaç, ürün tarafından karşılanması zorunlu ihtiyaçlar hakkında ve aynı zamanda mevcut sınırlayıcılar ve önlemleri hakkında da bilgi toplamaktır [28].

Bu faaliyet teknik özellikler belirlemeye yönelik ihtiyaç listesi şeklinde bir bilgi tanımı ortaya çıkarır. Bu bilgi, tasarım işlemi ve sonraki çalışma adımlarına ait ilgi alanlarına odaklı ve dönüktür. Kavramsal tasarım aşaması ve bunu izleyen aşamalar, sürekli güncellenmesi gereken bu dokümana dayanmalıdır (Şekil 5.1'de bu, bilgi geri besleme döngüsü ile belirtilmiştir) [28].

Görev tanımı sadece ürüne ait işlevsellik ve performans gibi ifadeleri değil, aynı zamanda teslim tarihleri ve maliyet hesapları hakkındaki ifadeleri de içerir. Tasarım ve geliştirme bölümü, artık çözüm ve şekillendirmeyi belirleyecek ve bunları mümkün olduğunca sayısal olarak formüle edecek ve belgelendirecek ihtiyaçları tayin etme problemi ile yüz yüze gelir. Bunu gerçekleştirmek için aşağıdaki soruları müşteri veya öneri sahipleri ile yakın işbirliği içinde cevaplandırmak gerekir [28];

- Hedeflenen çözümün karşılaması umulan amaçları nelerdir?
- Hangi özelliklere sahip olmalıdır?
- Ne tür özelliklere sahip olmamak zorundadır?

Sonuç veya bu işlem bir ihtiyaç listesidir. Bu belge, böylece tasarım proje başarısını değerlendirebilecek olan teknik özellikleri (tasarım şartnamesi) temsil eder [28].

5.2.2. Kavramsal tasarım

Görevi açıkça belirleme aşaması tamamlandıktan sonra kavramsal tasarım aşamasında temel çözüm belirlenir. Bu işlem, temel sorunları (problemleri) diğerlerinden ayırma, fonksiyon yapıları belirleme, uygun çözüm ilkeleri araştırma

ve ardından bir çalışma yapısı içinde bu ilkeler birleştirilerek yapılır. Kavramsal tasarım, temel bir çözüm belirleme (kavram) ile son bulur [28].

Ancak daha somut bir temsile dönüştürülene kadar çoğu kez bir çalışma yapısı değeri takdir edilemeyebilir. Bu somutlaştırma; ön malzemeleri seçme, kaba bir boyutsal genel oluşum hazırlama ve teknolojik olanakları dikkate almayı kapsar. Sadece bundan sonra genelde bir çözüm ilkesinin önemli yanlarına değer takdir etme ve amaçlar ile sınırlayıcıları gözden geçirme olasıdır. Birçok temel çözüm seçeneği olabilmesi mümkündür [28].

Temel bir çözümü temsil etme birçok şekilde yapılabilir. Mevcut yapı blokları için şematik temsil şeklinde bir fonksiyon yapısı, bir devre diyagramı veya akış şeması yeterli olabilir. Diğer durumlarda bir çizgi krokisi daha uygun olabilir ve bazen de kaba ölçekli bir çizim gerekir [28].

Kavramsal tasarım aşaması birkaç basamaktan meydana gelir. Eğer en fazla umut verici temel çözüm bulunacaksa bunlardan hiçbiri atlanmamalıdır. Sonraki şekillendirme ve ayrıntılı tasarım aşamalarında önemli çözüm ilkesi eksikliklerini düzeltmek oldukça zor veya olanaksız olur. Kalıcı ve başarılı bir çözüm, büyük olasılıkla teknik detaylar üzerinde abartılı odaklanmadan ziyade en uygun ilkeleri seçmeden doğar. Bu iddia, ayrıntılı tasarım aşaması esnasında en fazla umut verici ilkeler veya çözüm ilkeleri birleşiminde bile problemler ortaya çıkabileceği gerçeği ile çelişmez [28].

Detaylandırılmış olan çözüm seçenekleri artık değerlendirilmelidir. İhtiyaçlar listesi isteklerini karşılamayan seçenekler tasfiye edilmelidir. Geri kalanlar ise metodik özel ölçütler uygulanarak sorgulanmalıdır. Kaba ekonomik ölçütler de bir rol oynamaya başlasa bile bu aşama esnasındaki en önemli ölçütler, teknik nitelikte olanlardır. Artık bu değerlendirmeye dayalı en iyi kavram seçilebilir [28].

Birçok seçenek aynı derecede umut verici görünüyor olabilir ve nihai bir karara sadece daha somut bir düzeyde ulaşılabilir. Ayrıca çeşitli biçim tasarımları bir veya aynı kavramı karşılayabilir. Bundan sonra tasarım işlemleri, şekillendirme tasarımı olarak anılan daha somut bir düzeyde sürecektir [28].

5.2.2.1. Temel problem çözme faaliyetleri

Ne tür bir tasarım problemini çözdüğümüzden bağımsız olarak, her zaman bilinçli ya da bilinçsiz bir şekilde altı temel işlem yaparız [31];

1. İhtiyacı belirlemek veya çözülecek bir problemi tanımlamak,
2. Problemin nasıl çözüleceğini planlamak,
3. Gereksinimleri (ihtiyaçları, istekleri) geliştirerek ve benzer sorunlara yönelik mevcut çözümleri ortaya çıkararak sorunu tam olarak anlamak,
4. Alternatif çözümler oluşturmak,
5. Alternatifleri birbirleriyle karşılaştırarak değerlendirmek,
6. Uygulanabilir çözümlere karar vermek.

Bu model, tüm ürüne veya en küçük ayrıntısına bakılsa da tasarımına uymaktadır. Bu faaliyetlerin 1-2-3 şeklinde sırayla ele alınmasına gerek yoktur. Aslında çoğu zaman çözüm üretme ve değerlendirme ile iç içe geçerek, sorunun anlaşılmasını geliştirerek yeni, iyileştirilmiş çözümlerin üretilmesini sağlarlar [31].

5.2.2.2. Seçim ve değerlendirme yöntemleri

Seçim işleminden ortaya çıkan umut verici çözümler, ölçülebilir ölçütler kullanılarak son bir değerlendirme yapılma öncesi düzenlenmelidir. Bu değerlendirme; bir teknik, emniyet, çevresel ve ekonomik değerler kıymet takdirini kapsar. Değerlendirme işlemleri kendi doğaları gereği seçim işlemlerinden daha detaylıdır ve böylece bir çözümün mevcut değerini belirlemede sadece ana çalışma basamakları sonunda uygulanırlar. Bu durum, genelde bir çözüm yolu istikameti ile ilgili temel bir karara hazırlanıldığı zaman veya kavramsal ve şekillendirme aşamaları sonunda olur [28].

Sistematik yaklaşım çözüm alanı mümkün olduğunca geniş olmalıdır. Tasarımcılar, tüm olası tasnif ölçüt ve özelliklerini dikkate alarak oldukça büyük sayıda olası çözümlere ulaşır. Teorik olarak çok büyük kabul edilebilir ama pratik olarak gerçekleştirilemez çözüm sayısı, olası en kısa zamanda azaltılmalıdır. Diğer taraftan değerli çalışma ilkelerini elimine etmemeye özen göstermelidir. Çünkü avantajlı bir çalışma yapısı ortaya çıkması, sadece bunların diğerleri ile birleşimi yoluyla oluşabilir [28].

Farklı tasarım çözümleri; işlevsellik, uygulanabilirlik ve maliyet gibi bazı ölçütlere göre değerlendirilerek aralarından iyi olanlar seçilir. Bu ilk değerlendirme sonrası seçilen tasarım çözümleri şematik olarak da gösterilir. Bu amaçla standart bir seçim kartı kullanılır [32]. Seçim işlemi daha kolay uygulama ve teyit etme için sistematik hale getirilmiştir (Tablo 5.1). Burada ölçütler sırayla uygulanır ve herhangi bir çözüm önerisini elimine nedenleri kayıt edilir. Yani bu işlem, seçim nedenlerinin iyi bir görünümünü verir ve seçim kartı şeklinde uygun bir dokümantasyon sağlar [28].

Tablo 5.1. Örnek bir sistematik seçim kartı [28]

TU Berlin		Darbe yüklemeli deney seti SEÇİM KARTI							Kısım: 1 Sayfa: 1	
Çözüm seçeneği (Sv) gir:		Şunlarla değerlendirilen çözüm seçenekleri (Sv) SEÇİM ÖLÇÜTLERİ (+) Evet (-) Hayır (?) Eksik bilgi (!) İhtiyaç listesini kontrol et							KARAR Çözüm seçeneklerini (Sv) işaretle (+) Çözümü sürdür (-) Çözümü iptal et (?) Bilgi topla (çözümü tekrar değerlendir) (!) Değişiklikler için ihtiyaç listesini kontrol et	
		A Uyum güvencesi	B İhtiyaç listesini karşılama	C İlke olarak gerçekleşebilir	D Müsaade edilebilir maliyetler içinde	E Doğrudan emniyet önlemleri sağlar	F Tasarımcı şirketince tercih edilir	G Yeterli bilgi	Notlar (İşaretler, Nedenleri)	KARAR
V_1	1	+	?	+	+	?	-	-	Kontrol edilebilir frenlerin oluşumları sorunlu	+
V_2	2	+	+	+	+	+	+	+		+
V_3	3	+	+	+	+	+	+	+		+
V_4	4	+	+	+	?	+	-	+	Hidrolik henüz uygulanamadı	+
V_5	5	+	?	+	-	+	-	-	Lineer motorlarla tecrübe yok	-
V_6	6	+	?	+	?	+	-	?	Mıknatısın güç gereksinimi çok fazla	-
V_7	7	+	?	+	-	+	-	?	Tristör kontrolü ile tecrübe yok	-

Kesinlikle güvenli bir işlem olmamakla birlikte sistematik ve doğrulanabilir bir seçim işlemi kullanma, bir öneri hazinesinden umut verici çözümler seçmeyi oldukça kolaylaştırır. Bu seçim işlemi, elimine etme ve tercih etme olarak adlandırılan iki adımdan oluşur. Önce büsbütün uygunsuz olan tüm öneriler elimine edilir. Eğer hala aşırı sayıda olası çözümler kalmışsa, diğerlerinden açıkça daha iyi görünenlere öncelik verilmelidir. Sadece bu çözümler kavramsal tasarım aşaması sonucunda değerlendirilir. Eğer büyük sayıda çözüm önerileri ile karşılaşılırsa tasarımcı bir seçim kartı düzenlemelidir [28].

Prensipte her adımdan sonra, yani fonksiyon yapılarını belirleme sonrası bile, sadece şu çözüm önerileri sürdürülmelidir [28];

- Tüm görev ve birbirleri ile uyumlu olanlar (A ölçütü)
- İhtiyaç listesi isteklerini karşılayanlar (B ölçütü)
- Performans, genel oluşum gibi ilkelere göre gerçekleştirilebilir olanlar (C ölçütü)
- Müsaade edilebilir maliyetler içinde olması umulanlar (D ölçütü)

Uygun olmayan çözümler, bu dört ölçütün yukarıdaki sırada uygulanmasına bağlı olarak elimine edilir. A ve B ölçütleri, evet/hayır kararlarına uygundur ve bunların uygulanması nispeten çok az problem ortaya çıkarır. C ve D ölçütleri, genelde daha nicel bir yaklaşıma ihtiyaç duyar. Bunlar, sadece A ve B ölçütleri karşılanması halinde kullanılmalıdır [28].

Nicel değerlendirmeler istediği için C ve D ölçütleri, sadece ihtiyaçları karşılamada yetersiz çözüm önerilerini değil, aynı zamanda ihtiyaçları gereksiz bir oranda aşanları da elimine etmeyi sağlayabilir [28].

Çok büyük sayıdaki olası çözümler arasında aşağıdakilerden bazıları varsa, bir tercih kabul edilebilir [28];

- Doğrudan emniyet önlemleri içermek veya avantajlı ekonomik koşullar sunmak (E ölçütü)
- Tasarımcının şirketince tercih edilir, yani normal uzmanlık, malzemeler, işlemlerle ve avantajlı patent koşulları altında kolayca geliştirilebilir olmak (F ölçütü)

Eğer karar vermeye yardımcı olursa, ek seçim ölçütleri de kullanılabilir. Tam bir değerlendirmeye aşırı zaman ve çaba gerektirecek kadar fazla sayıda seçenek olduğunda, sadece ayrıcalıklı ölçütlere dayalı seçim önerileceği vurgulanmalıdır [28].

Önerilen sırada uygulanan bir ölçüt, bir önerinin elimine edilmesine sebep olursa, arkasından diğer ölçütlerin bu öneriye orada ve daha sonra uygulanmasına ihtiyaç yoktur. İlk önce sadece tüm ölçütleri karşılayan çözüm seçenekleri sürdürülmelidir. Bunun yanında bazen bilgi eksikliğinden (G ölçütü) ötürü sorunu çözmek olanaksız olur. A ve B ölçütlerini karşılayan umut verici seçenekler durumunda, bir öneri yeniden değerlendirilerek boşluk doldurulmalıdır. Bu işlem, iyi çözümlerin göz ardı edilmemesini sağlayacaktır [28].

5.2.3. Şekillendirme tasarımı

Bu aşama esnasında tasarımcılar, bir kavramdan başlayarak (çalışma yapısı, temel çözüm), teknik ve ekonomik ölçütlerle uyumlu teknik bir sisteme ait konstrüksiyon yapısını (tüm genel oluşum) belirler. Bir genel oluşum belirlemeyle şekillendirme tasarımı son bulur [28].

Farklı seçeneklerin avantaj ve dezavantajları hakkında fazla bilgi elde etmeyi eşzamanlı veya sırasıyla ölçecek genelde birkaç ön genel oluşum geliştirmek gerekli olur [28].

Genel oluşumları yeterli detaylandırma sonrası bu tasarım aşaması, teknik ve ekonomik ölçütlere göre bir değerlendirme ile de son bulur. Bu işlem, daha yüksek bilgi düzeyli yeni bilgi ortaya koyar. Çoğu kez bireysel seçenekleri değerlendirme, umut verici görünen birini seçmeyi sağlayabilir. Ama yine de bu, başkalarına ait fikir ve çözümleri birleştirmeden kazanım sağlayabilir ve aynı işlemle daha da geliştirilebilir. Uygun birleşim ve zayıf noktaları elimine etme sonrası en iyi genel oluşumlar elde edilebilir [28].

Bu kesin genel oluşum fonksiyon, dayanım, özel uyumluluk gibi hususları kontrol etme yöntemi sağlar. En geç bu aşamada proje finansal geçerliliği de incelenmelidir. Sadece bundan sonra ayrıntılı tasarıma ait işe başlanmalıdır [28].

5.2.4. Ayrıntılı tasarım

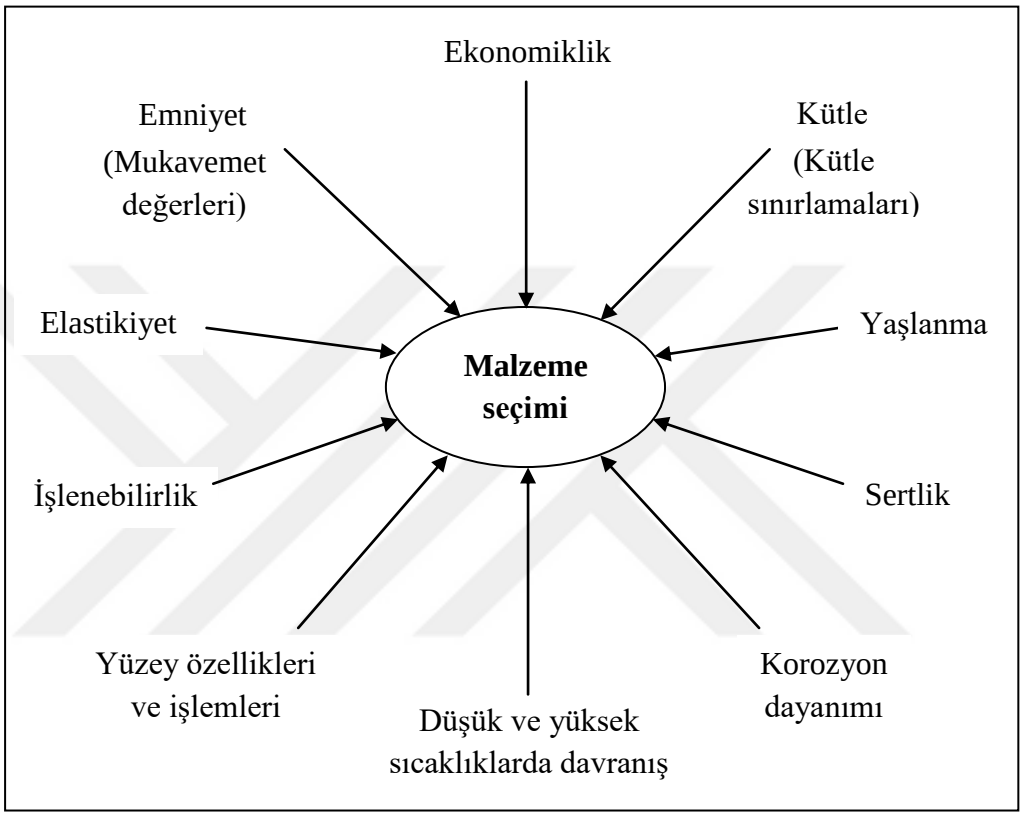
Ayrıntılı tasarım, tüm bireysel parçaların düzen, biçim, boyut ve yüzey özelliklerini kesin bir şekilde ortaya koyan, malzemeleri tanımlayan, üretim olanaklarını değerlendiren, maliyetleri tahmin eden ve tüm çizim ve diğer üretim dokümanlarını oluşturan tasarım işlem aşamasıdır. Ayrıntılı tasarım aşaması, üretim dokümanları şeklinde ayrıntılı bilgi tanımıyla son bulur [28].

Tasarımcıların bu aşamada dikkatli olmaları önemlidir. Aksi takdirde bunların fikir ve planları tüm onaylar dışına çıkabilir. Önem ve ilgiden yoksun ikinci dereceli problemleri ayrıntılı tasarıma dahil etmeyi düşünmek bir hata olur. Daha önce de değinildiği gibi çoğu kez zorluklar, ayrıntıya ilgi eksikliğinden ortaya çıkar. Maliyetleri azaltmak kadar montaj ve parçalar geliştirmek için de bu aşama esnasında oldukça sık düzeltmeler yapılmalı ve sonraki adımlarda tekrarlanmalıdır [28].

5.3. Tasarımda Malzeme Seçimi

Fonksiyonellik, maliyet ve ekonomiklik, imalat, taşıma, bakım ve kullanım gibi farklı kriterlerin tasarım aşamasına önemli etkileri vardır. Bu kriterlerdeki beklentiler tasarımcıyı ve dolayısıyla üreticiyi zorlamaktadır. Teknik bir yapıdan (makine, cihaz, yapı parçaları vb.) esas beklenti, kendisinden beklenen görevi (fonksiyonu) tam olarak ve sorunsuz yerine getirmesidir. Kriterler arasında en önemli olanıdır ve diğer kriterler bu kavrama katkıda bulunurlar. Genel olarak, hatalı kullanım veya aşırı yükleme sebebiyle insana ve makineye yönelik tehlikelerin önlenmesi emniyet kavramı ile ilişkilidir ki bu da aynı zamanda tasarıma yönelik temel beklentilerden birisidir. Tasarımda uygun önlemler alınarak makineden kaynaklanabilecek tehlikeler önlenebilir. Malzeme seçimi, tasarımda çok önemli bir yere sahiptir. Farklı malzemelerin mukavemet, yoğunluk, esneklik, sertlik, tokluk gibi birbirinden farklı teknolojik özellikleri bulunmaktadır ve bunlar malzeme seçimini kritik hale getirir. Tasarım ne kadar iyi olursa olsun eğer kullanılan malzeme uygun değilse sonuç hüsran olur. Günümüzde hemen her amaç için çok sayıda malzeme bulmak mümkündür. En doğru malzemeyi seçebilmek için sürekli olarak malzeme konusunda güncel bilgi sahibi olmak gerekir. En doğru malzeme, istenen şartları tam anlamıyla sağlayan en ekonomik malzemedir. Ucuz bir malzeme, üretim

teknolojilerine uyuyor ve mukavemet beklentilerini sağlıyorsa, daha fazla emniyet sağlamak adına pahalı başka malzeme seçmenin anlamı yoktur. Makine elemanının mümkün olduğunca sonsuz ömürlü olması isteği malzeme seçiminde temel kriter olarak alınmalıdır. Malzeme seçiminde dikkate alınan faktörler Şekil 5.2 ile belirtilmiştir [33, 34].



Şekil 5.2. Malzeme seçim kriterleri [33]

5.4. Üretim Maliyetleri

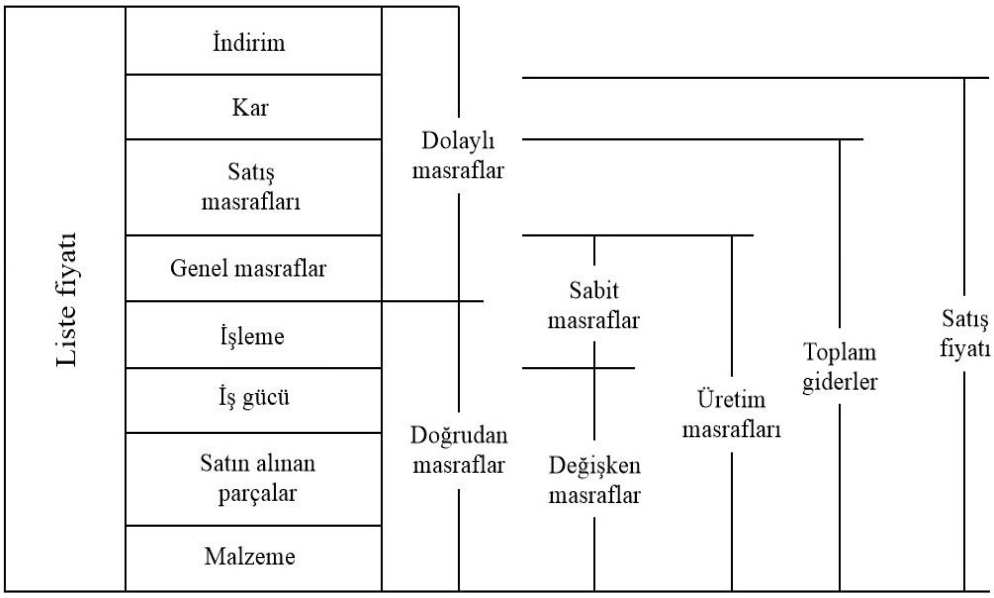
Yeni bir ürün geliştirmede tasarım mühendisi için en zor ve önemli görevlerden biri üretim maliyetini tahmin etmektir. Kavramsal aşamada veya düzenleme aşamasının başında, önce maliyetin kaba bir tahmini oluşturulur ve sonra ürün geliştirilirken maliyet tahmini de yeniden gözden geçirilir. Değişikliklerin çok fazla olmadığı geliştirilebilir tasarım sorunları için erken maliyet tahminleri, mevcut maliyetler bilindiğinden oldukça doğru saptanabilir [31].

Tasarım geliştikçe maliyet tahminleri nihai maliyetle bir noktada birleşir. Bu genellikle satıcılardan fiyat teklifi ve bir maliyet uzmanının yardımını gerektirir. Birçok üretim şirketi satın alma veya maliyet tahmin departmanına sahiptir ve onlar

üretilen veya satın alınan malzemeler için tahmin oluşturmaktan sorumludurlar. Bununla birlikte, özellikle göz önünde bulundurulması gereken çok sayıda kavram veya varyasyon olduğunda tasarımcı sorumluluğu paylaşır. Tasarımcılar tarafından kullanılacak maliyet-öngörü metotlarını tarif etmeden önce, tasarım mühendisinin ürünün maliyeti ve satış fiyatı üzerindeki kontrolünün ne olduğunu anlamak önemlidir. Maliyet genellikle bir kısıtlama terimi olduğundan birçok şirket, önemini vurgulamak için maliyete yönelik tasarım tabirini kullanmaktadır. Bu, ürün geliştirilirken gelişen bir maliyet tahmini akımını korumak anlamına gelir [31].

Bir ürünün müşteriye toplam maliyeti (liste fiyatı) ve bileşen parçaları Şekil 5.3 ile gösterilmektedir. Tüm maliyetler, doğrudan masraflar ve dolaylı masraflar olmak üzere iki kategoride toplanabilir [31].

Doğrudan masraflar, doğrudan belirli bir eleman, montaj veya ürüne dayandırılabilecek maliyetlerdir. Diğer tüm masraflar dolaylı maliyetler kategorisine girmektedir. Genel olarak doğrudan ve dolaylı masraflara katkıda bulunan maliyetleri tanımlamak için kullanılan terminoloji şekildeki gibi tanımlanmaktadır. Her şirketin kendi muhasebe (defter tutma) yöntemi vardır, bu nedenle burada verilen tanımlar her muhasebe planına uymayabilir. Ancak, her şirketin tartışılan tüm masrafları hesaba katması gerekir [31].



Şekil 5.3. Ürün maliyetinin analizi [31]

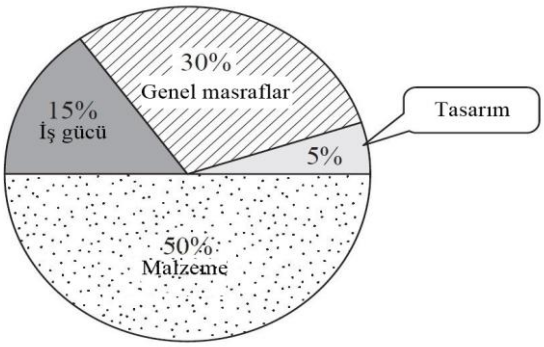
Doğrudan masrafın büyük bir kısmını malzeme maliyetleri oluşturur. Bunlar arasında, bir ürün için satın alınan tüm malzemelerin, hurda ve hatalı üretim sonucu bozulan malzemenin de neden olduğu atıkların masrafları da dahil olmak üzere harcamaları yer almaktadır. Hurda (ıskartaya çıkan parça) genellikle önemli bir husustur. Çoğu malzeme için ıskartaya çıkan parça geri kazanılabilirdir ve bu geri kazanım malzeme maliyetinden düşülebilir. Bozuk ürün, üretim kusurları veya diğer hasarlardan dolayı kullanılamayacak parçaları ve malzemeleri içerir [31].

Tedarikçilerden satın alınan ve evde üretilemeyen elemanlar da doğrudan maliyet olarak kabul edilir. En azından bu satın alınan parça maliyeti, bağlayıcıları ve ürünü göndermek için kullanılan ambalaj malzemelerini içerir. Maksimum olarak tüm bileşenler sadece evde yapılan montajlarla şirket dışında üretilebilir. Bu durumda malzeme maliyeti yoktur [31].

İşçilik maliyeti, parçaların üretimi ve montajı için gereken iş gücüne uygulanan ücret ve faydaların maliyetidir. İşçilik maliyetine, çalışanların maaşlarının yanı sıra sağlık sigortası, emeklilik fonları ve tatil zamanları da dahil olmak üzere tüm yan hakları örnek olarak gösterilebilir [31].

Doğrudan maliyetlerin son unsuru takım maliyetidir. Bu maliyet, parça üretimi için özel olarak imal edilen veya satın alınan tüm donanımları, kalıpları ve diğer parçaları içerir. Çok az sayıda öğe yapılıyor ise ve bileşenler basit veya montajı kolay ise bu tarz ürünler için bu maliyetler minimumdur [31].

Şekil 5.3, kullanılan malzemenin, işçiliğin, satın alınan parçaların ve takım elemanı giderlerinin toplamının doğrudan maliyet olduğunu göstermektedir. Üretim maliyeti; doğrudan maliyet artı yönetim, mühendislik, sekreterlik işleri, temizlik, kamu hizmetleri, binaların kiralanması ve günden güne meydana gelen diğer maliyetleri içeren tüm masrafları içerir. Birçok şirket genel masrafları sabit ve değişken bölümlere ayırır; mağaza malzemeleri, ekipmandaki amortisman, ekipman kiralama maliyetleri ve insan maliyetleri değişkendir [31].



Şekil 5.4. Üretim maliyetinin bir bölümü olarak tasarım maliyeti [31]

Bir ürünü tasarlamanın gerçek maliyeti, Ford Motor Şirketi'nden alınan verilere dayanarak hazırlanan Şekil 5.4'deki grafikte de görülebileceği gibi, genellikle bir ürünün üretim maliyetinin küçük bir kısmıdır. Veriler bir otomobilin üretim maliyetinin sadece %5'inin, onu geliştirmek için gereken tasarım faaliyetleri için olduğunu göstermektedir. Bu rakam endüstri ve ürüne göre değişir, ancak çoğu ürün için tasarım maliyeti üretim maliyetinin küçük bir parçasıdır. Tasarım kararları, kullanılan malzemeleri, satın alınan parçaları, bu parçaların şeklini, satılan ürünü, ürünün fiyatını ve satışları doğrudan belirler [31].

5.5. Bilgisayar Destekli Tasarım

Bilgisayar destekli tasarım (CAD), bir mühendislik tasarımını geliştirmek, analiz etmek veya değiştirmek için bilgisayarı kullanan her türlü tasarım faaliyetini içerir. Modern bilgisayar destekli tasarım sistemleri etkileşimli bilgisayar grafiklerine dayanır. Etkileşimli bilgisayar grafikleri, verilerin resimler veya semboller biçiminde oluşturulması, dönüştürülmesi ve görüntülenmesi için bilgisayardan destek alınan kullanıcı odaklı bir sistemi belirtir [35].

Tasarımcı, tasarım sürecinin insanın zihinsel becerilerine en uygun bölümünü (kavramsallaştırma gibi) gerçekleştirir; bilgisayar ise yetenekleri dahilindeki görevleri (görsel ekran, veri depolanması gibi) yerine getirir. Bilgisayar destekli bir tasarım sisteminin uygulanmasının birkaç temel nedeni vardır. Bunlar [35];

1. Tasarımcının verimliliğini artırmak: Bu, tasarımcıya, ürüne ve bileşeninin alt montajlarına ve parçalarına yardım ederek ve tasarımın sentezlenmesi, analiz

edilmesi ve belgelenmesi için gereken süreyi azaltarak gerçekleştirilir. Bu verimlilik artışı sadece daha düşük tasarım maliyetine değil, aynı zamanda daha kısa proje tamamlama sürelerine de dönüşür.

2. Tasarım kalitesini artırmak: CAD sistemi daha kapsamlı bir mühendislik analizine izin verir ve daha fazla tasarım alternatifi incelenebilir. Sistem tarafından sağlanan daha yüksek hassasiyet sayesinde tasarım hataları da azaltılır. Bu faktörler daha iyi bir tasarıma imkan verir.

3. İletişimi geliştirmek: Bir CAD sisteminin kullanılması daha iyi mühendislik çizimleri, çizimlerde daha fazla standardizasyon, tasarımın daha iyi belgelenmesi, daha az çizim hatası ve daha fazla okunabilirlik sağlar.

4. Üretim için bir veritabanı oluşturmak: Ürün tasarımı için dokümantasyon oluşturma sürecinde ürünün üretilmesi için gereken veri tabanının çoğu da oluşturulur.

Tasarım aşamasında, uzaysal (soyut) sistemde düşünülen tüm fikir ve planlar somut ortama bir modelleme yazılımı ile aktarılır. Parça modelleri ve bunların montajları, imalat resimleri bu aşamada gerçekleştirilir. Tasarım aşamasında düşünülmüş olan fakat modelleme aşamasına aktarılamayan bir fikir, nihai anlamda makineye veya sisteme herhangi bir yenilik katamayacağı için uzaysal sistemde kalacaktır. Bir başka ifadeyle sadece düşünceden ibaret olacaktır. Bundan dolayıdır ki modelleme, bir makine sistemini meydana getirmede önemli bir uğraştır.

SOLIDWORKS® CAD yazılımı, tasarımcıların fikirlerini hızla çizime geçirmelerini, unsurlar ve ölçülendirmelerle denemelerini ve modeller ile detaylı teknik resimler üretmelerini sağlayan bir mekanik tasarım uygulamasıdır.

Bir SOLIDWORKS® modeli, kenarlarını, yüzlerini ve yüzeylerini tanımlayan 3B (3 Boyutlu) geometriden oluşur. Parçalar, SOLIDWORKS® yazılımında temel yapı bloklarıdır. Montajlar, parçaları veya alt montaj adı verilen diğer montajları içerir.

İlk çizimden nihai sonuca kadar parça tasarımı yaparken bir 3B model oluşturulur. 3B montajlar oluşturmak için bu modelden, parçalar veya alt montajlardan oluşan 2B teknik resimler veya montaj ilişkisi bileşenleri oluşturulabilir.

6. ÇİZİLME TEST CİHAZININ TAHRİK TİPİNİN BELİRLENMESİ

6.1. Tasarımdan Beklenen Özellikler

Polimerik malzemelerin çizilmesi konusunda yapılan literatür araştırmaları ve ASTM/ISO test standartları göz önünde bulundurularak tasarımı yapılan test cihazına ait belirlenen özellikler Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Test cihazından beklenen özellikler

Yük aralığı	Hız aralığı	Çizilme uzunluğu	Çizici uç tipi	Hareketli eleman
0-50 N	0,15-25 mm/sn	100 mm	120° tepe açılı elmas konik uç	Numune taşıyıcı tabla

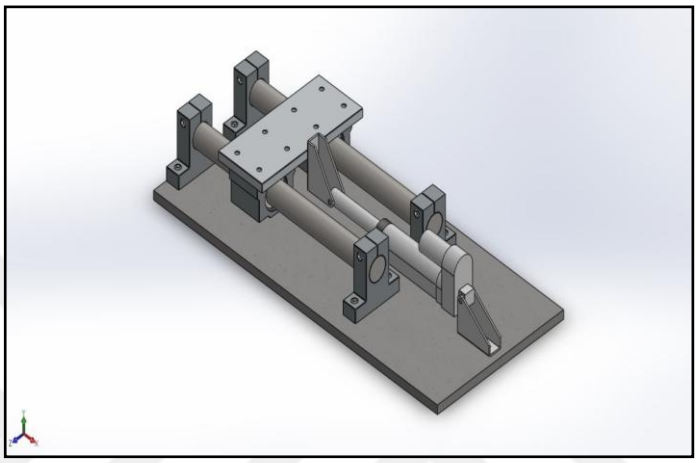
Test cihazından beklenen özellikler belirlendikten sonra, bu beklenen özellikleri sağlayabilecek alternatif çözüm önerileri ortaya konulmuştur. Bunlar, lineer aktüatör tahrikli sistem, step motor tahrikli sistem, servo motor tahrikli sistem, hidrolik tahrikli sistem ve pnömatik tahrikli sistemden oluşmaktadır.

6.2. Konsept Çözümlerin İncelenmesi

6.2.1. Lineer aktüatör tahrikli sistem

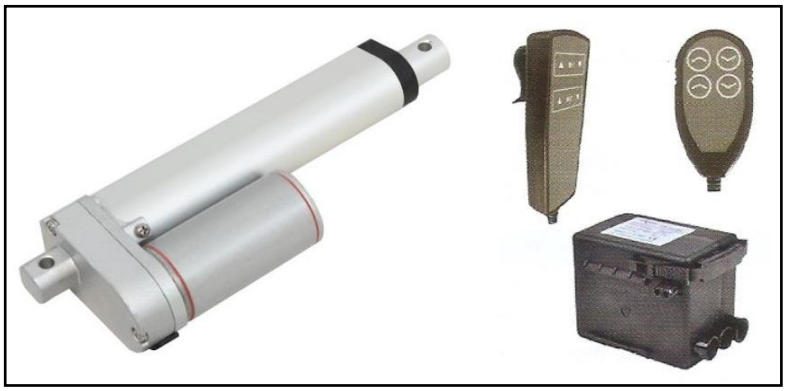
Lineer aktüatörlü sistemin ön tasarım modellemesi SOLIDWORKS® yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Bu yapılan tasarım Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Bu test cihazında hareketi sağlayacak olan motor 12 V çalışma gerilimine, 4 mm/sn'lik çalışma hızına ve 50 mm çalışma mesafesine sahip bir elektronik cihazdır. Bazı modellerinde mil boyu daha da uzamaktadır. Bu da strok mesafesinin daha fazla olacağı anlamına gelmektedir. Tahriği sağlayacak olan DC motor cihazın üzerinde bulunmaktadır. Bu aktüatör, gerilim uygulandığında DC motorun dönme hareketini yani dairesel hareketi doğrusal itme ve çekme hareketine dönüştürebilen elektronik bir cihazdır. Artı (+) gerilim uygulandığında aktüatörün içerisinde bulunan mil, bağlı olduğu tablayı ileri doğru hareket ettirir.

Aktüatörün ucunda bulunan limit sensör sayesinde hareket alanı bittiğinde durur. Eksi (-) gerilim uygulandığında ise bu mil itme yönünün aksine bir hareket yapar. Bu lineer aktüatörün en büyük dezavantajı ise sadece tek bir hızda çalışmasıdır. Herhangi bir hız ayarının yapılması mümkün değildir. 12 V gibi düşük bir çalışma gerilimine sahip olduğu için hareket hızı düşük kalmaktadır. Yük kapasitesi artırıldığında hızının daha da düşmesi başka bir dezavantajıdır.



Şekil 6.1. Lineer aktüatör tahrikli sistemin modelleme aşamasındaki görünümü

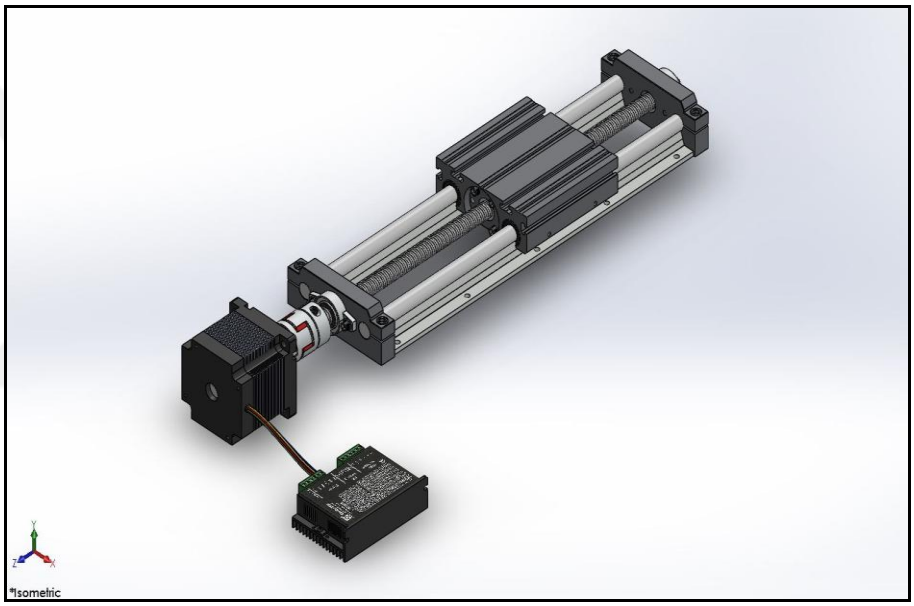
Lineer aktüatörü kontrol etmek için ikili kontrol kutusu ve el kumandası gerekmektedir. Bu aktüatör ile tasarlanacak olan test cihazında aşınma testini gerçekleştirebilmek için kumanda üzerinde bulunan ileri-geri yön butonları sürekli olarak el ile kontrol edilmelidir. Bu, aşınma testini gerçekleştirmeyi zorlaştıran bir durumdur. Lineer aktüatör, kontrol kutusu ve el kumandasından oluşan bu sistem fiyatlandırıldığında ortaya 200 $ gibi yüksek bir maliyet çıkmaktadır. Şekil 6.2 ile lineer aktüatör, kontrol kutusu ve el kumandası gösterilmektedir.



Şekil 6.2. Lineer aktüatör, kontrol kutusu ve el kumandası

6.2.2. Step motor tahrikli sistem

Step motor tahrikli sistemin bir ön tasarım modellemesi SOLIDWORKS® yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Step motor tahrikli sistem için numune taşıyıcı tabla, ilerleme hareketini sağlayacak vidalı mil, motor ile vidalı mil arasında hareketi ileten elastik kaplin, step motoru kontrol edecek bir sürücü, gerilimi sağlayacak bir güç kaynağı ve programlanabilir mantık denetleyiciye (PLC) ihtiyaç duyulmaktadır. Step motor tahrikli sistem 0,15-25 mm/sn aralığında kademesiz çalışma hızına, 100 mm çizilme uzunluğuna, 0-50 N yükleme aralığına sahiptir. Şekil 6.3 ile step motor tahrikli sistemin ilk modelleme görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6.3. Step motor tahrikli sistemin ilk modelleme görüntüsü

6.2.3. Servo motor tahrikli sistem

Servo motor tahrikli sistem, alt yapı olarak step motor tahrikli sistem tasarımı ile aynı olduğu için modellemesine ihtiyaç duyulmamıştır. Servo motor ölçüleri ve flanş ölçüleri step motor ile birbirine yakın olduğundan sadece maliyet, hız, yük aralığı gibi kriterler dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Servo motor tahrikli sistemi step motor tahrikli sistemden ayıran en önemli fark, servo motor sürücüsünün bir güç kaynağına ihtiyaç duymadan direkt 220 V AC şebeke gerilimi ile beslenmesidir. Step motor tahrikli sistemde sürücü, direkt olarak 220 V AC şebeke gerilimi ile beslenemiyor olup, gerilim düşürücü bir güç kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Servo

motorun dönme hızı step motora göre çok daha yüksektir. 3000 dv/dk gibi bir hız ile dikkati çekmektedir. 400 W güç, 4,8 Nm tork değerine sahiptir.

6.2.4. Hidrolik tahrikli sistem

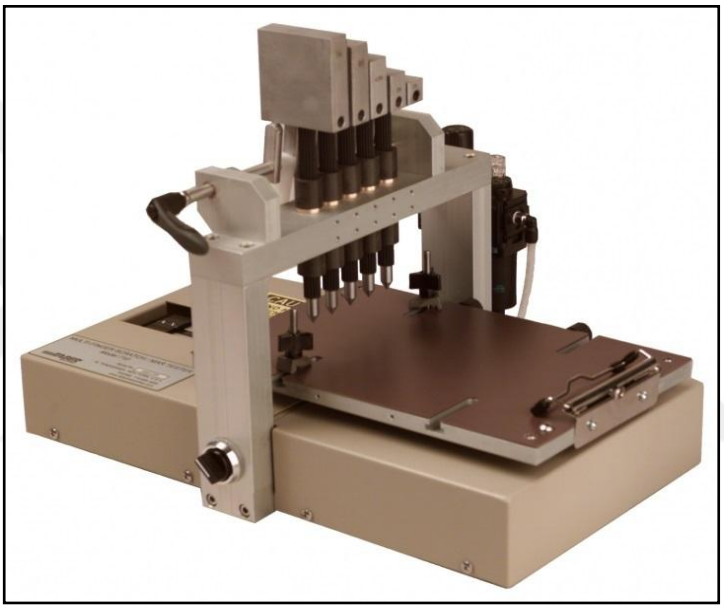
Hidrolik tahrikli sistem; hidrolik tank (depo), hidrolik pompa, hidrolik silindir, hidrolik motor, valfler ve birçok devre elemanından meydana gelmektedir. Hidrolik sistemlerde akışkan olarak yağ kullanılmaktadır. Bir tank içerisinde muhafaza edilen yağ, basınçlandırılmak suretiyle hidrolik pompa aracılığıyla emilerek sıkıştırılır ve sisteme gönderilir. Böylelikle hidrolik enerji, pistonlar kullanılarak doğrusal harekete dönüştürülür. Hidrolik sistemler daha çok, yüksek miktarlarda gücün gerektiği ekskavatör, greyder gibi araçlarda, fabrikalarda ağır cisimleri kaldırmak için kullanılan vinç mekanizmalarında ve preslerde kullanılmaktadır. Bu sistem, çok fazla devre elemanı gerektirdiği için üretim maliyeti de yüksek olmaktadır. Şekil 6.4 ile hidrolik tahrikli bir çizilme test cihazı görülmektedir.



Şekil 6.4. Örnek bir hidrolik tahrikli çizilme test cihazı [36]

6.2.5. Pnömatik tahrikli sistem

Pnömatik tahrikli sistem, hidrolik tahrikli sistem ile aynı çalışma prensibine sahiptir. Bu sistemde akışkan olarak yağ yerine hava kullanılmaktadır. Hava atmosferden kompresörlerle emilmekte ve sıkıştırılarak basıncı yükseltilmektedir. Basıncı yükseltilen hava, sisteme boru ya da hortumlarla iletilmektedir. Pnömatik ve hidrolik tahrikli sistemler komplike sistemlerdir ve birçok devre elemanına ihtiyaç duyarlar. Bu sebeple maliyet öngörülemez bir şekilde artmaktadır. Şekil 6.5 ile ticari olarak üretilmiş bir çizilme test cihazı örneği gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Örnek bir pnömatik tahrikli ticari çizilme test cihazı [37]

6.3. Çözümlerin Değerlendirilmesi

Bölüm 5.2 göz önünde bulundurularak, tasarımı yapılacak olan cihaza ait beklentiler;

- Hedeflenen çözümün karşılaması umulan amaçları nelerdir?
- Hangi özelliklere sahip olmalıdır?
- Ne tür özelliklere sahip olmamak zorundadır?

soruları sorularak bir ihtiyaç listesi belirlenmiştir. Bunlar;

1. Cihaz çizilme testi yapabiliyor mu?
2. Cihaz aşınma testi yapmaya uygun mu?

3. Cihaz fonksiyonel mi?
4. Cihaz beklenen hız aralığında çalışabiliyor mu?
5. Cihaz istenen yük aralığında çalışabiliyor mu?
6. Cihazın kütlesi istenen değerin üzerinde mi?
7. Cihaz hedef maliyetin üzerinde mi?

Şekillendirme tasarımı aşamasında oluşturulan beş farklı çözüm, hazırlanan bir seçim kartı ile değerlendirilmiş olup Tablo 6.2 ile gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Çizilme test cihazı seçim kartı

Çizilme Test Cihazı

SEÇİM KARTI

Çözüm seçeneği (Sv) gir:

Şunlarla değerlendirilen çözüm seçenekleri (Sv)

SEÇİM ÖLÇÜTLERİ

(+) Evet

(-) Hayır

(?) Eksik bilgi

(!) İhtiyaç listesini kontrol et

KARAR

Çözüm seçeneklerini (Sv) işaretle

(+) Çözümü sürdür

(-) Çözümü iptal et

(?) Bilgi topla (çözümü tekrar değerlendir)

(!) Değişiklikler için ihtiyaç listesini kontrol et

	A: Uyum güvencesi	B: İhtiyaç listesini karşılama	C: İlke olarak gerçekleşebilir	D: Müsaade edilebilir maliyetler içinde	E: Doğrudan emniyet önlemleri sağlar	F: Tasarımcı şirketince tercih edilir	G: Yeterli bilgi	Notlar (İşaretler, Nedenleri)	KARAR
1	+	-	+	+	+	?	+	İhtiyaç listesini karşılamıyor	-
2	+	+	+	+	+	+	+	İhtiyaç listesini karşılıyor	+
3	+	+	+	-	+	+	+	Müsaade edilebilir maliyetin üzerinde	-
4	+	-	+	-	+	+	?	Yeterli bilgi mevcut değil	-
5	+	-	+	-	?	+	?	Hız ayarı yapılamıyor	-

1 numara ile belirtilen çözüm seçeneği lineer aktüatör tahrikli sistemdir. Bu sistem maliyet ve üretilebilirlik kriterleri dahilinde isteklere uygundur. Fakat ihtiyaç listesindeki sorulara tam olarak cevap verememektedir. Sabit bir hızda çalışması en büyük dezavantajı olup ihtiyaç listesindeki isteklere cevap veremediği için tasarımından vazgeçilmiştir.

2 numara ile belirtilen çözüm seçeneği step motor tahrikli sistemdir. Bu sistem ihtiyaç listesindeki tüm gereksinimleri karşılamaktadır. Gerek hız ayarının yapılabilmesi, gerek istenen yük aralığında teste elverişli olması ve gerekse üretim maliyetlerinin müsaade edilebilir sınırlar dahilinde olması onu, çözümde öne geçiren unsurlardır.

3 numara ile belirtilen çözüm seçeneği servo motor tahrikli sistemdir. Servo motor tahrikli sistem ihtiyaç listesindeki birçok gereksinimi yerine getirmektedir. Böyle bir sistem çizilme test cihazı gereksinimlerinin fazla üzerindedir. Ancak çok yüksek üretim maliyeti gerektirdiği için bu sistemden kavramsal tasarım aşamasında vazgeçilmiştir.

4 numaralı çözüm seçeneği hidrolik tahrikli sistemdir. Hidrolik tahrikli sistem birçok devre elemanından oluşan komplike bir sistem olup üretilebilirlik açısından dezavantaj teşkil etmektedir. Gerek maliyet, gerek üretimi konusunda yeterli seviyede bilgiye sahip olunamaması bu sistemin elimine edilmesine neden olmuştur.

5 numaralı çözüm seçeneği pnömatik tahrikli sistemdir. Pnömatik tahrikli sistem de hidrolik tahrikli sistem gibi ihtiyaç listesindeki gereksinimleri karşılamamaktadır. Bu sistemin en büyük dezavantajı hız ayarının yapılamamasıdır. Bu sebeple tasarımından vazgeçilmiştir.

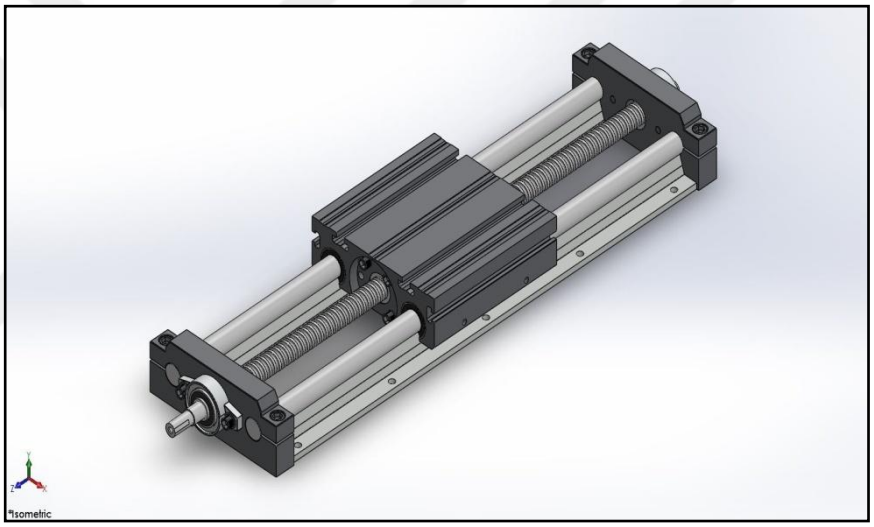
Değerlendirme neticesinde 2 numaralı çözüm seçeneği olan step motor tahrikli sistem, seçim kartından da görüleceği üzere ihtiyaç listesindeki kriterleri ve diğer kriterleri karşıladığından tasarımına ve imalatına karar verilmiştir.

7. ÇİZİLME TEST CİHAZINA AİT ELEMANLARIN TASARIMI

7.1. Mekanik Sistem Elemanlarının Tasarımı ve Tanıtımı

7.1.1. Vidalı modül

İstenilen çizilme uzunluğunu sağlayacak vidalı modül hazır olarak temin edilmiştir. Vidalı modül, üzerinden ölçüler alınmak suretiyle SOLIDWORKS® yazılımı kullanılarak Şekil 7.1 ile gösterildiği üzere modellenmiştir.



Şekil 7.1. Vidalı modülün modellenmiş görüntüsü

Vidalı modül, 16 mm çapa, 5 mm hatveye sahip helezonik kanallı bir vidalı mil, dört adet lineer rulman, vidalı mil flanşlı somun, numunenin sabitlenmesini ve taşınmasını sağlayacak olan bir tabla, vidalı mil ucu destek elemanı, yataklar, mil altı destek profilleri ve indüksiyonlu millerden oluşmaktadır.

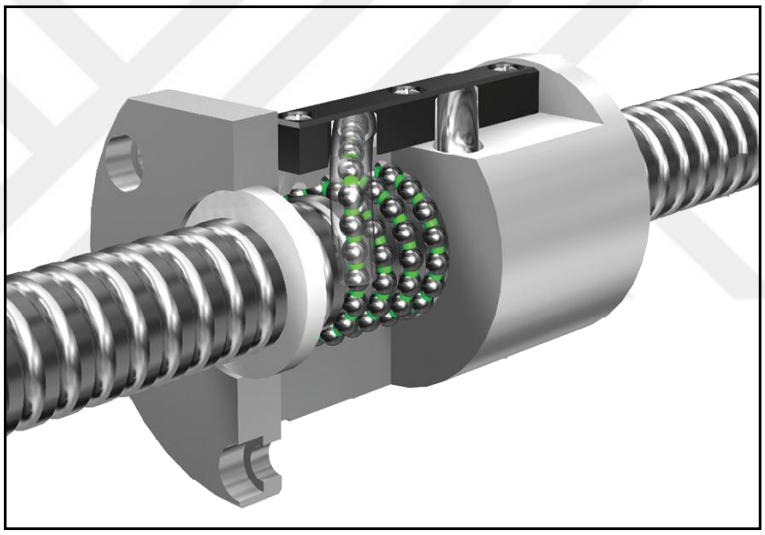
7.1.1.1. Vidalı mil ve flanşlı somun

Vidalı mil, bilye yataklı bir somunun, vida dişleri açılmış bir mil üzerindeki sistem sayesinde dönme hareketini doğrusal harekete çeviren makine elemanıdır. Numunenin sabitlendiği tablanın mil boyunca hareketini sağlayacak olan eleman vidalı mil flanşlı somundur (Şekil 7.2).

Bu hareket esnasında sürtünmenin azaltılabilmesi amacıyla somun ile mil arasında yer alan boşlukta yataklanan bilyeler mevcuttur.

Bir iletim hareketi elemanı olan vidalı miller, doğrusal hareketi bilyeler sayesinde daha az sürtünme ile iletirler. Hassas bir vida olarak üretilen dişli mil ise helezonik yapıdaki kanalları sayesinde bilye yataklarının rahat hareketine olanak tanır. Düşük sürtünme özelliği sayesinde yüksek mekanik verim elde edilir. Vida ile somun arasına uygun bir toleransla yerleştirilmiş olan çelik bilyeler, sistemin aynı bir rulmanlı yatak gibi çok düşük sürtünme katsayısı ile çalışmasını sağlar [38].

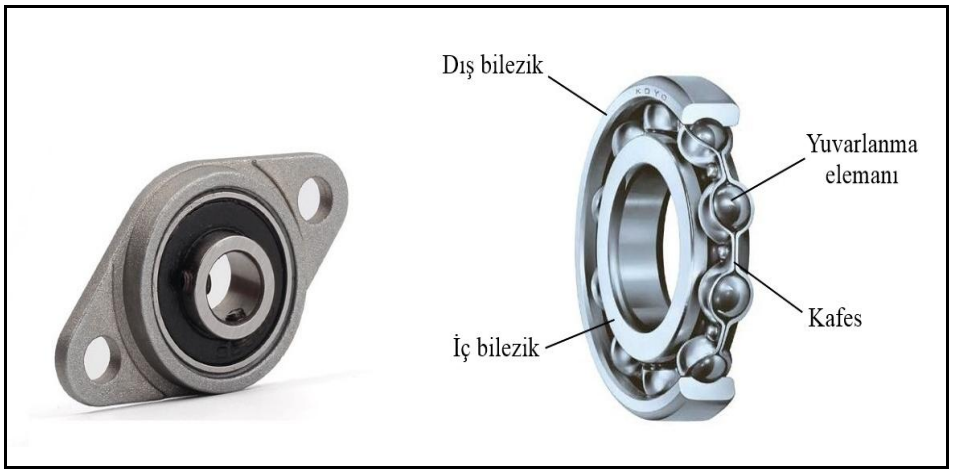
Vidalı mil somunu, iç kısmında bulunan bilyeler sayesinde milin dönme hareketini tablaya aktarır. Tablanın bu şekilde ileri veya geri hareketi sağlanmış olur.



Şekil 7.2. Vidalı mil somunun iç yapısı [39]

7.1.1.2. Vidalı mil yatakları

Vidalı milin kendi ekseni etrafında dönmesi için iki uçtan da bir yuvarlanma elemanı ile sabitlenmesi gerekmektedir. Bunun için gerekli eleman rulmanlı yataktır. Rulmanlı yataklar dönen bir makine elemanı ile duran bir makine elemanı arasında kuvvet geçişini aradaki yuvarlanma elemanları vasıtasıyla sağlar. Vidalı mil her iki uçtan, Şekil 7.3 ile gösterilen rulmanlı yatak ile yataklanmıştır.

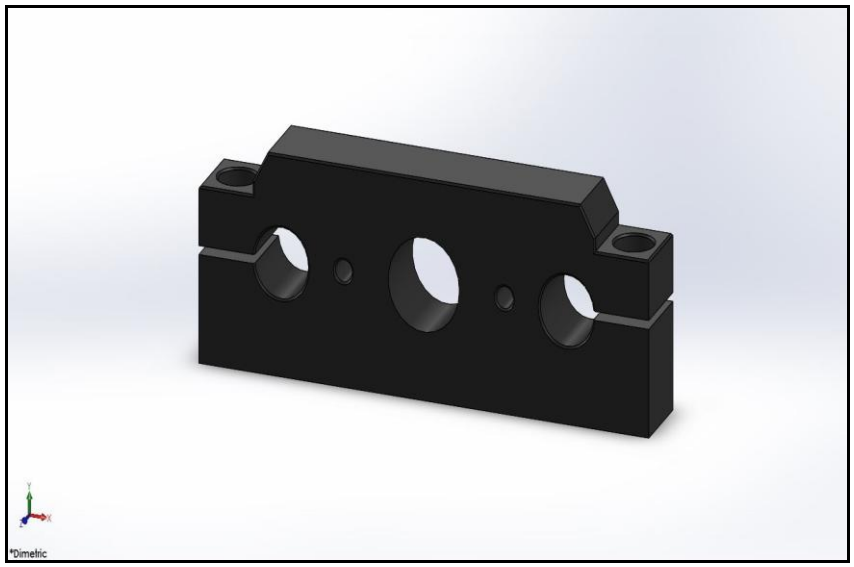


Şekil 7.3. Rulmanlı yatak ve kesit görünümü

Rulmanlı yataklar; bir iç bilezik, bir dış bilezik ve iki bilezik arasında yuvarlanma hareketi yapan yuvarlanma elemanlarından oluşur. Ayrıca yuvarlanma elemanlarının ayrılarak birbirine sürtünmesini önlemek ve eşit aralıklarda iç ve dış bilezikler arasında yuvarlanmasını sağlamak için kılavuz kafesleri bulunur [40].

7.1.1.3. Vidalı mil ucu destek elemanı

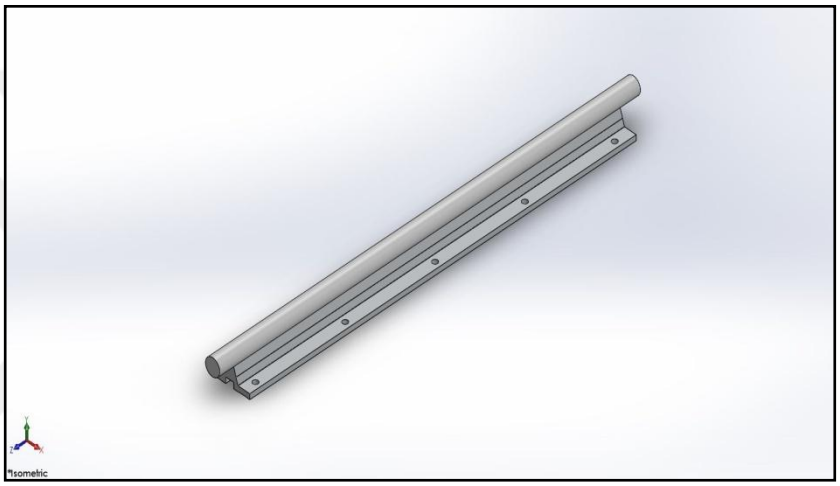
Her iki uçtan yataklanan vidalı mil ve yataklama elemanını taşıyacak olan eleman mil ucu destek elemanıdır. Şekil 7.4 ile gösterilen mil ucu destek elemanında vidalı milin ve indüksiyonlu milin içerisinden geçeceği üç adet delik bulunmaktadır. Rulmanlı yatak mil ucu destek elemanının iç kısmına monte edilebileceği gibi dış yüzeyine de monte edilebilmektedir.



Şekil 7.4. Vidalı mil ucu destek elemanı

7.1.1.4. Mil altı destek profili ve indüksiyonlu mil

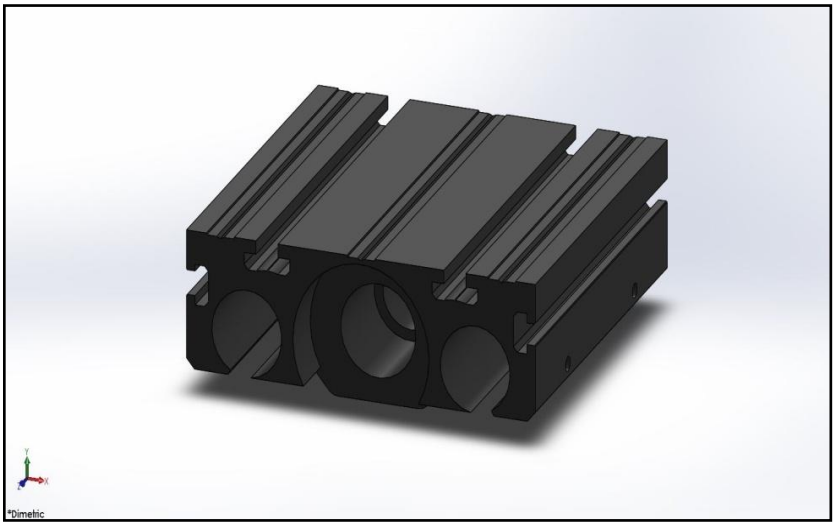
Şekil 7.5 ile gösterilen, üzerine indüksiyonlu mil sabitlenmiş olan mil altı destek profili, mil ucu destek elemanına monte edilmiştir. Mil altı destek profilinin üzerinde 16 mm çapında hassas indüksiyonlu krom kaplamalı mil bulunmaktadır. Bu mil, indüksiyonla sertleştirilmiş olup taşlanmış yüzeyleri sayesinde korozyona karşı yüksek dayanım sağlamaktadır. Mil üzerinde çalışan, gezici tablanın iç kısmında bulunan lineer rulmanlar hassas indüksiyonlu mil üzerinde kayarak harekete destek olmaktadır ve böylelikle kayma hareketi sağlanmış olmaktadır.



Şekil 7.5. Mil altı destek profili ve indüksiyonlu mil

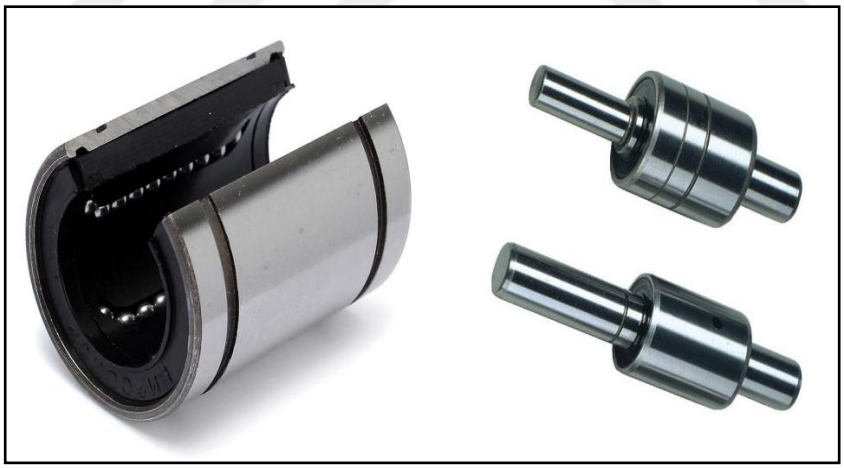
7.1.1.5. Gezici tabla ve lineer rulman

Şekil 7.6 ile gösterilen gezici tabla, test sırasında git-gel hareketini yapacak olan elemandır. 130 mm x 130 mm olan ebatları sayesinde nispeten büyük ölçekli numuneleri de test etmeye elverişlidir. Arzu edildiği takdirde daha büyük numuneleri test etmek için bu ebatlar, üzerine monte edilecek daha büyük bir plaka ile genişletilebilir. Bu test cihazında 130 mm x 130 mm olan tabla ebatları korunmuştur. Lineer rulmanlar bu tablanın iç kısmında bulunmaktadır. Gezici tablanın üzerine yerleştirilecek başka bir plaka ile test edilecek numunenin sisteme sabitlenmesi sağlanacaktır. Numuneyi tutacak olan aparatlar bahsi geçen bu alüminyum plakanın üzerine monte edilecektir.



Şekil 7.6. Gezici tabla

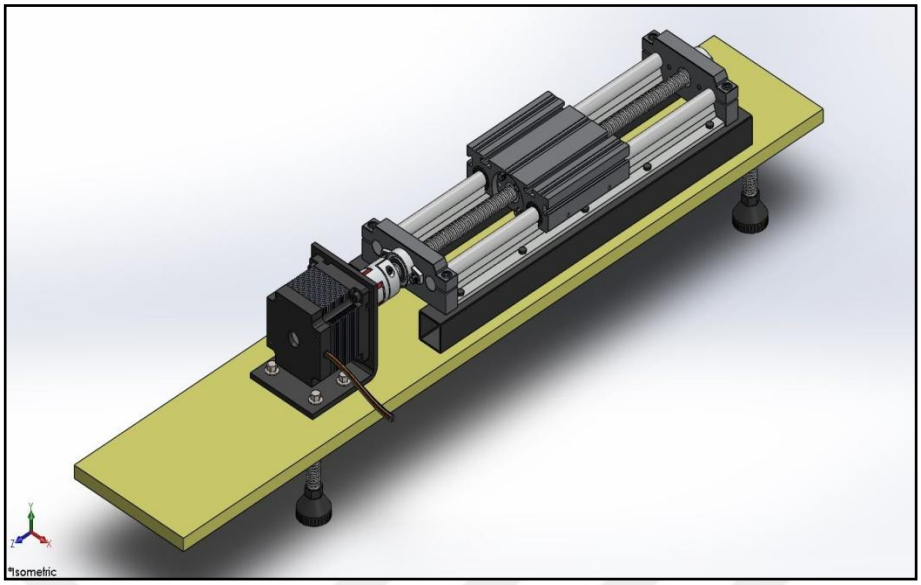
Lineer rulman, iç kısmında bulunan bilyeler sayesinde bir mil üzerinde kayma hareketinde bulunarak bağlı olduğu elemanı mil boyunca taşır. Gezici tablanın iç kısmında bulunan dört adet lineer rulman indüksiyonlu mil üzerinde kayma hareketinde bulunmaktadır ve vidalı mil üzerine düşen yükü azaltmaktadır. Şekil 7.7 ile mil üzerine yerleştirilmiş lineer rulman gösterilmektedir.



Şekil 7.7. Lineer rulman

7.1.2. Step motor ile vidalı modülün bağlantısı

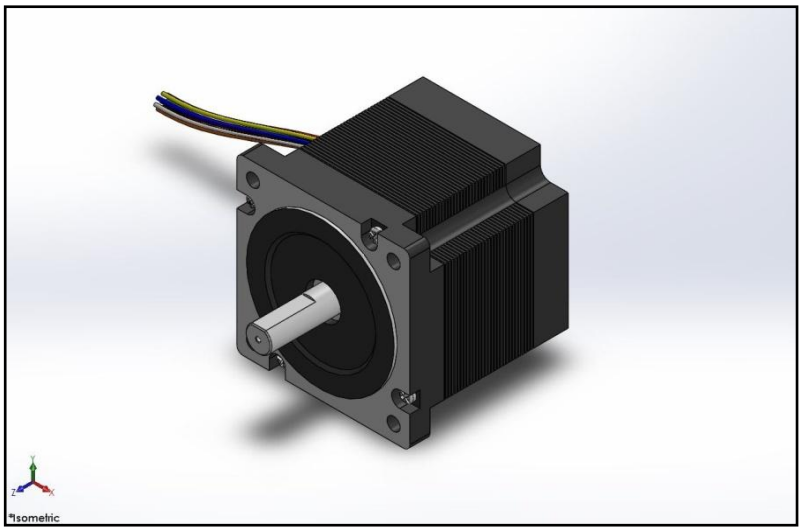
Step motor ile vidalı modül bağlantısını gerçekleştirmek için step motor flanşı modellenmiştir. Bir sonraki aşamada da bunları taşıyacak aksam (taşıyıcı ayaklar, taban bloğu, çelik profiller) tasarlanmıştır. Bunlara ait elemanların montaj modellemesi Şekil 7.8 ile gösterilmiştir.



Şekil 7.8. Step motorun vidalı modüle yapılan montaj modellemesi

7.1.2.1. Step motor

Vidalı modül milini tahrik edecek step motor 86 mm x 86 mm flanş ölçüsüne, 4,5 Nm torka, 300 dv/dk dönme hızına sahiptir. 48 V gerilim beslemesi ile sistemden 4,2 A akım çekecek step motorun ölçüleri bire bir üzerinden alınarak modellenmiş olup Şekil 7.9 ile gösterilmiştir.

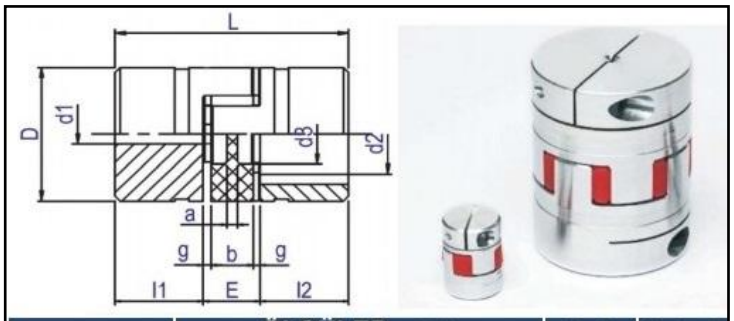


Şekil 7.9. Step motorun modellenmiş görüntüsü

7.1.2.2. Elastik kaplin

Step motor mili ile vidalı modül mili arasındaki bağlantıyı sağlamak amacıyla elastik kaplin kullanılmıştır. Elastik kaplinin, sistemde oluşabilecek titreşimleri ve

vuruntuları absorbe edip motora zarar vermesini engellemek gibi görevleri de bulunmaktadır. Kaplin seçimi, step motorun gücü ve devir sayısı göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Şekil 7.10 ile, seçimi yapılan elastik kapline ait katalog değerleri verilmiştir.



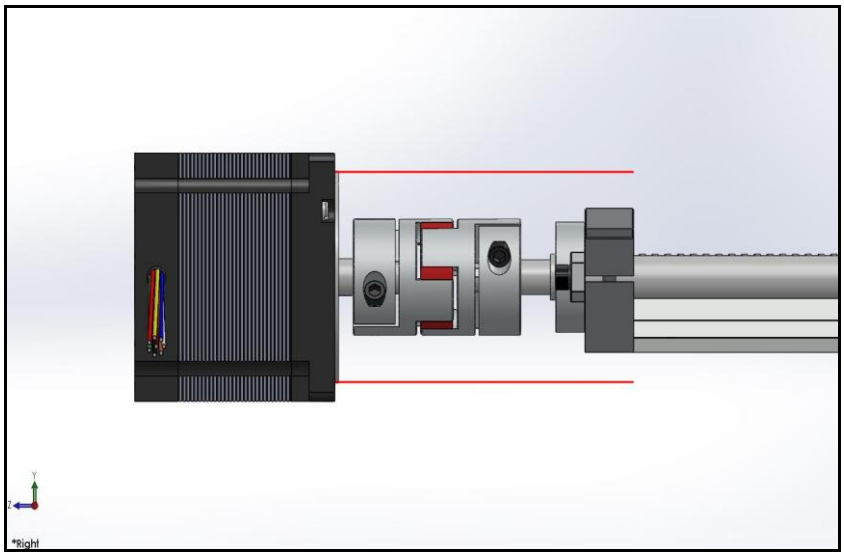
KAPLİN	ÖLÇÜLER - mm				Tork Nm	Maks.D evir
	d1-d2	D	L	l_1 / l_2		
GS 09	4-9	20	30	10	5	22500
GS 12	4-12	25	34	11	9	15000
GS 14	6-14	30	35	11	12.5	12700
GS 19	6-24	40	66	25	17	9550
GS 24	8-28	55	75	30	60	6950
GS 28	10-38	65	90	35	160	5850
GS 38	12-45	80	114	45	325	4750
GS 42	14-55	95	126	50	450	4000
GS 48	15-62	105	140	56	525	3600

Şekil 7.10. Elastik kapline ait katalog değerleri

Kaplin seçimi motorun torkuna ve vidalı mil ile step motor milinin çaplarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. GS 19 serisi elastik kaplin, d_1 ve d_2 ölçüleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Buradaki d_1 ve d_2 kaplin üzerine açılabilecek delik çaplarının ölçüsünü ifade etmektedir. Katalogdaki D ifadesi kaplinin çapını, L kaplinin uzunluğunu, l_1 ve l_2 ise kaplinin mili tutabileceği (kavrayacağı) uzunluğu ifade etmektedir.

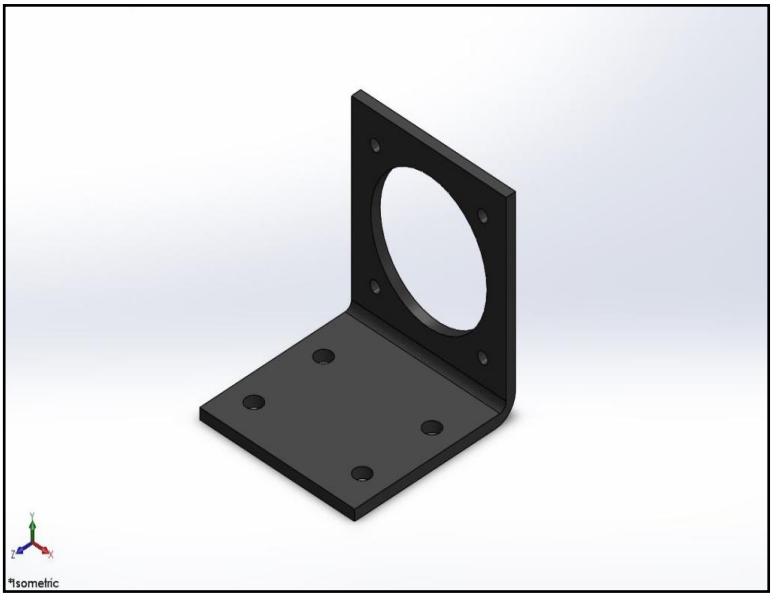
7.1.2.3. Step motor flanşı

Tasarımın ilk aşamalarında, vidalı modül mili ve step motor mili eksenel olarak aynı hizaya getirildiğinde (kaplin bağlantısı yapıldığında), step motorun flanş deliklerinin denk geldiği kısım Şekil 7.11'de kırmızı çizgiler ile gösterildiği üzere vidalı modül ucu destek elemanının dışında kalmaktadır. Dolayısıyla step motorun vidalı modüle bağlantısının yapılması mümkün gözükmemektedir.



Şekil 7.11. Kaplin bağlantısı sonucu step motor flanş deliklerinin mil ucu destek elemanına denk gelen noktaları

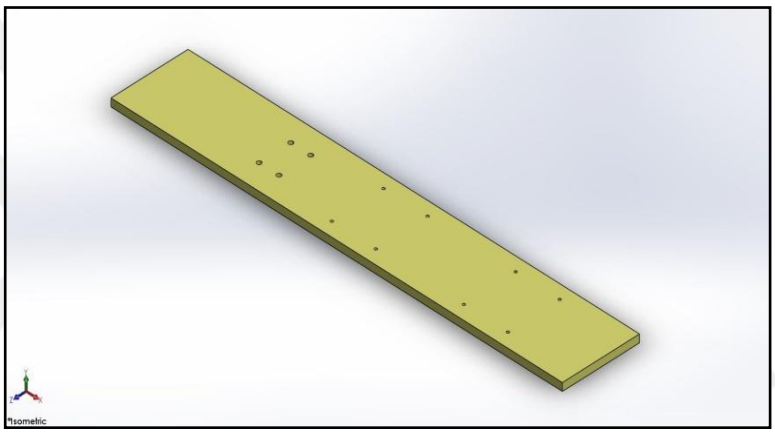
Step motoru, vidalı modüldeki mil ucu destek elemanına sabitlemenin mümkün olmayacağının anlaşılması üzerine, bir taban bloğuna monte edilmesi düşünülmüştür. Bunun için Şekil 7.12 ile gösterildiği üzere "L" biçiminde bir flanş tasarlanmıştır. Flanş, step motorun katalog bilgisindeki flanş ölçüsü baz alınarak ölçülendirilmiştir. 6 mm et kalınlığına sahip flanş 200 mm x 100 mm olarak tasarlanmıştır.



Şekil 7.12. Step motor flanşının modellenmiş görüntüsü

7.1.2.4. Taban bloğu

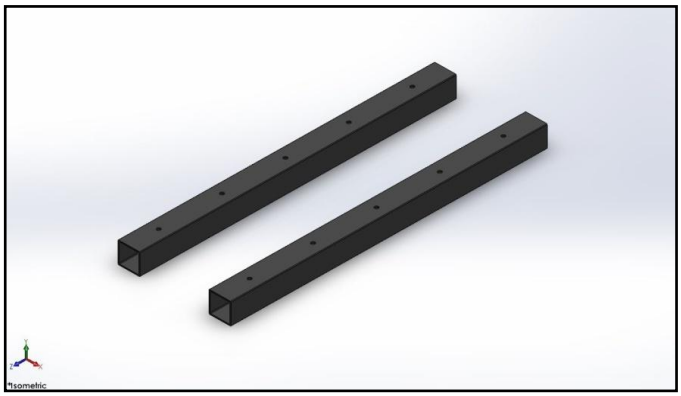
Taban bloğu (Şekil 7.13), test cihazındaki tüm aksamı taşıyacak gövdedir. 1025 mm uzunluk, 175 mm genişlik ve 15 mm kalınlıkta tasarlanan bu gövdede, çelik malzeme kullanılması durumunda kütlesinin 21 kg, alüminyum malzeme kullanılması durumunda 7 kg olmasından dolayı döküm polyamidi (kestamit) tercih edilmiştir. Kestamit malzeme düşük kütle yoğunluğuna, yüksek aşınma direncine sahiptir. Kolay işlenebilme özellikleri sergilemesinden ve maliyetinin çelik ile alüminyuma kıyasla çok daha uygun olmasından dolayı taban bloğunun kestamit olması tercih edilmiştir.



Şekil 7.13. Taban bloğu modellemesi

7.1.2.5. Çelik profil

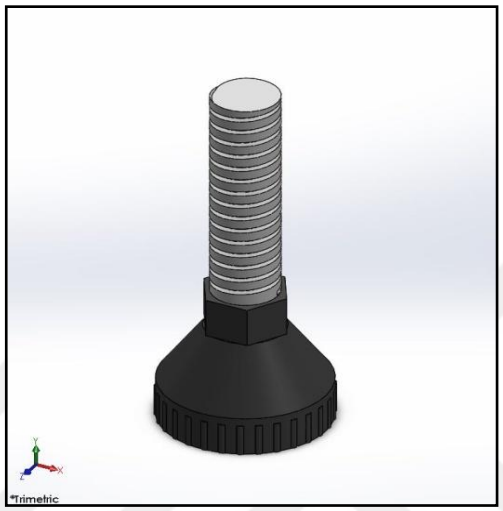
Vidalı modül altına yerleştirilecek 35 mm x 35 mm çelik profiller ile modül yükseltilecektir. Böylece vidalı modül desteklenmiş olacaktır. 500 mm uzunlukta modellenen çelik profiller Şekil 7.14 ile gösterilmiştir.



Şekil 7.14. Çelik profiller

7.1.2.6. Yükseltme ayağı

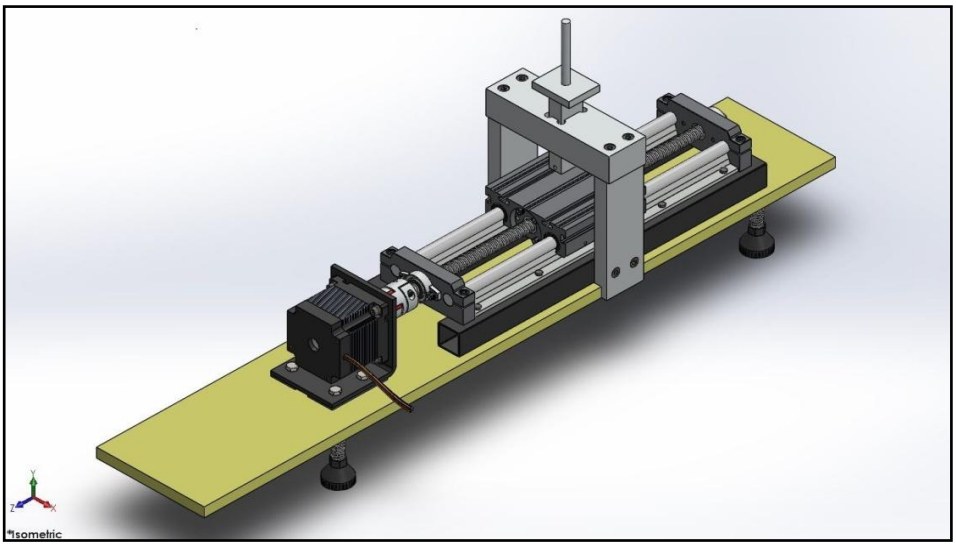
Taban bloğunun altına yerleştirilecek ayak destekleri ile test cihazının zeminden bir miktar yükseltilmesi sağlanacaktır. 55 mm vida boyuna sahip ayak ile taban bloğu zeminden 70 mm yükseltilmiş olacaktır. Tasarlanan yükseltme ayağı Şekil 7.15 ile gösterilmiştir.



Şekil 7.15. Yükseltme ayağı

7.1.3. Çizici uç tutucu ve taşıyıcısının tasarımı

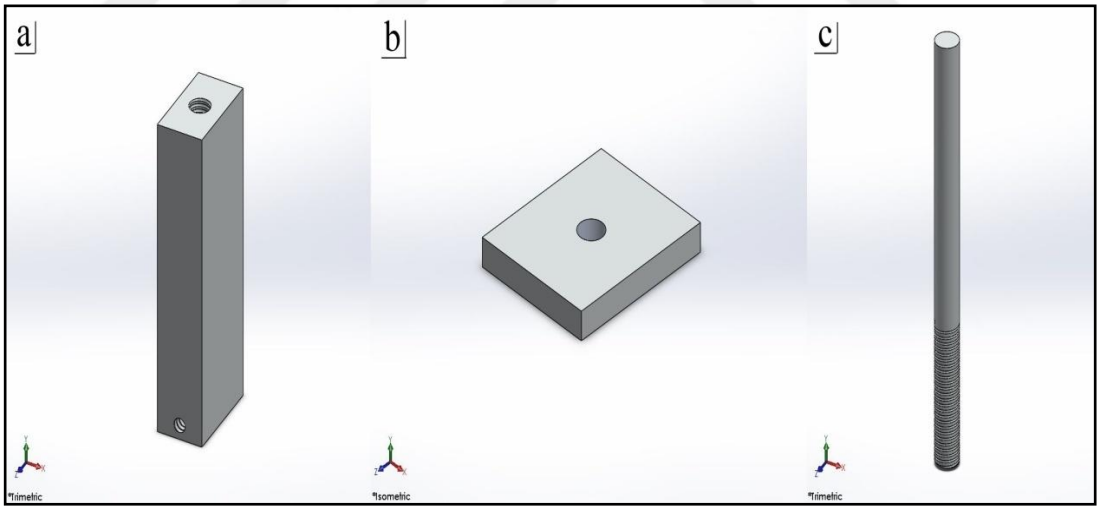
Çizici uç tutucu ve yük taşıyıcı kısım tasarlanarak, bir önceki aşamada gerçekleştirilen model üzerinde bağlantısı yapılmak suretiyle Şekil 7.16 ile gösterilmiştir. Bu kısmı oluşturan sistem elemanların tanıtımı aşağıda yapılmıştır.



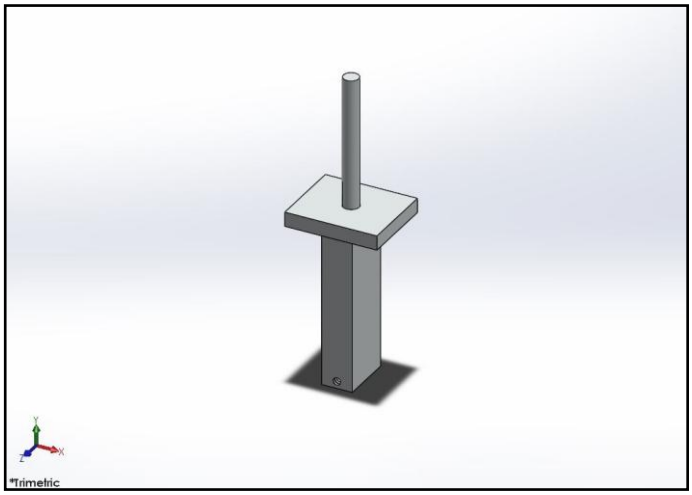
Şekil 7.16. Çizici uç tutucu ve taşıyıcı kısmın modellenmiş görüntüsü

7.1.3.1. Çizici uç tutucu

Çizici takım üç parçanın bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş olan elemandır. Numune üzerine baskı yaparak, onu çizilmeye veya aşınmaya zorlayacak çizici takımı oluşturan elemanların demonte edilmiş görüntüsü Şekil 7.17 ile gösterilmiştir. Şekil 7.17a ile gösterilen eleman, çizici ucun sabitleneceği sütundur ve 110 mm x 35 mm x 20 mm ebatlarda tasarlanmıştır. Alt yüzeyine açılan 6,5 mm'lik delik ve yanal yüzeylere açılan setskur vida delikleri sayesinde çizici ucun bu sütuna sabitlenmesi sağlanacaktır. Yük bloklarını taşıyacak olan eleman, Şekil 7.17b ile gösterildiği üzere 60 mm x 50 mm x 10 mm ölçülere sahip dikdörtgen kesitli lamadır. Çizici sütunun üst yüzeyine kaynak ile birleştirilmesi düşünülen bu eleman üzerine yerleştirilecek yük blokları sayesinde numune üzerine baskı (kuvvet) sağlanacaktır. Şekil 7.17c ile yük bloklarının dengede kalmasını, savrulmasını önleyecek mil gösterilmiştir. 10 mm çap ve 150 mm boya sahip bu milin bir kısmı çizici sütunun iç kısmına vidalı birleştirme ile monte edilecektir. Şekil 7.18 ile, bu üç elemanın montajlanmış görüntüsü verilmiştir.



Şekil 7.17. a) Çizici uç tutucu, b) Yük bloklarını taşıyacak lama, c) Yük bloklarını dengede tutacak mil

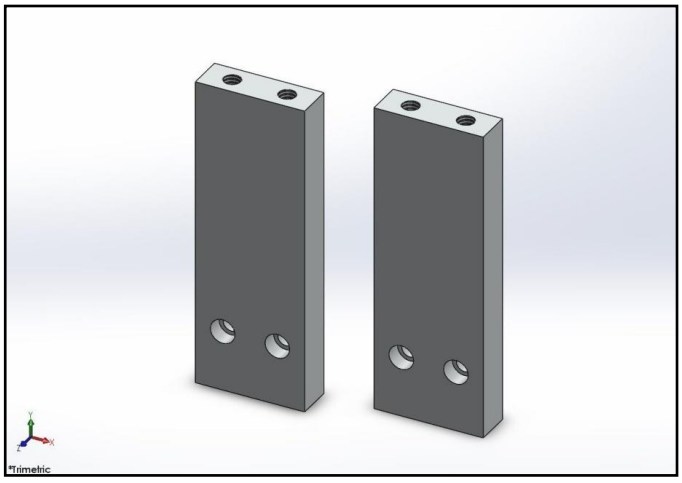


Şekil 7.18. Çizici uç tutucunun montaj modellemesi

7.1.3.2. Çizici uç taşıyıcısı

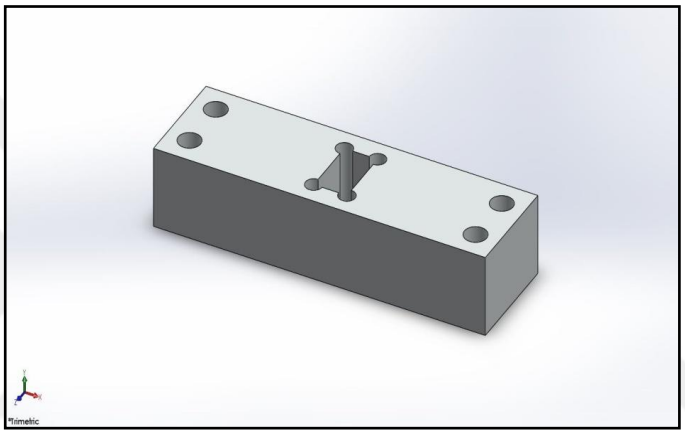
Tasarımda çizici uç taşıyıcısı, dikey ve yatay lamalardan oluşacak şekilde modellenmiştir. Modellenen dikey ve yatay lamaların tanıtımı aşağıda yapılmıştır.

1. Dikey lama: Çizici takımın içerisinden geçeceği yatay lamayı desteklemek amacıyla tasarlanan bu dikey lamalar sisteme bir nevi köprü görünümünde monte edilecektir. Toplam kütleyi artırmamak için alüminyum malzemeden üretilmesi düşünülen bu lamaların 175 mm x 60 mm x 20 mm ebatlarında olması tasarlanmıştır. Üst yüzeyine açılacak vida delikleri ile yatay lamanın kendisine monte edilmesi sağlanacaktır. Yanal yüzeylerdeki delikler ile, dikey lamaların 35 mm x 35 mm ebatlarındaki çelik profillere monte edilmesi sağlanacaktır. Dikey lama tasarımı Şekil 7.19 ile gösterilmiştir.



Şekil 7.19. Dikey lamaların modellenmiş görüntüsü

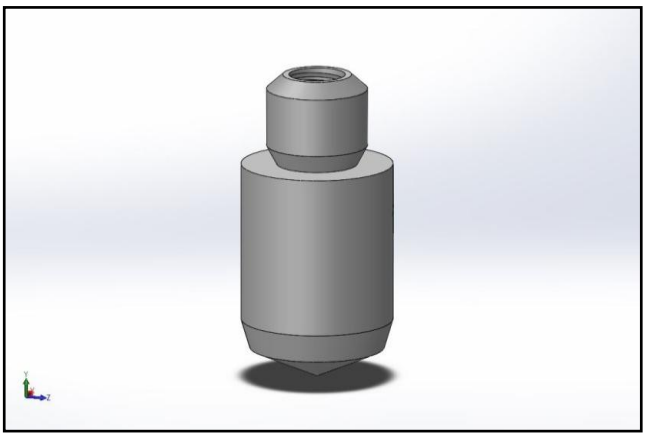
2. Yatay lama: Alüminyum malzeme kullanılarak üretilmesi planlanan, çizici takımın dikey eksende sabit kalmasını sağlayacak yatay lama, 200 mm x 60 mm x 40 mm ebatlarında tasarlanmıştır. Çizici takım ile aynı geometride olacak şekilde tam orta noktasından kanal açılması düşünülmüştür. Bu kanal çizici takım ölçülerinden yüzde bir toleransla daha büyük ölçüde tasarlanmıştır. Kanalın, çizici takım ebatları ile eşit veya daha küçük açılması durumunda çizici sütun kanaldan zorlanarak geçeceği için sağlıklı bir ölçüm elde edilemeyecektir. Bu yüzden bu kanalın, hem çok büyük olmaması hem de sıkı geçebilecek seviyede olmaması gerekmektedir. Şekil 7.20 ile yatay lamanın modellenmiş görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 7.20. Yatay lama modellemesi

7.1.3.3. Çizici uç

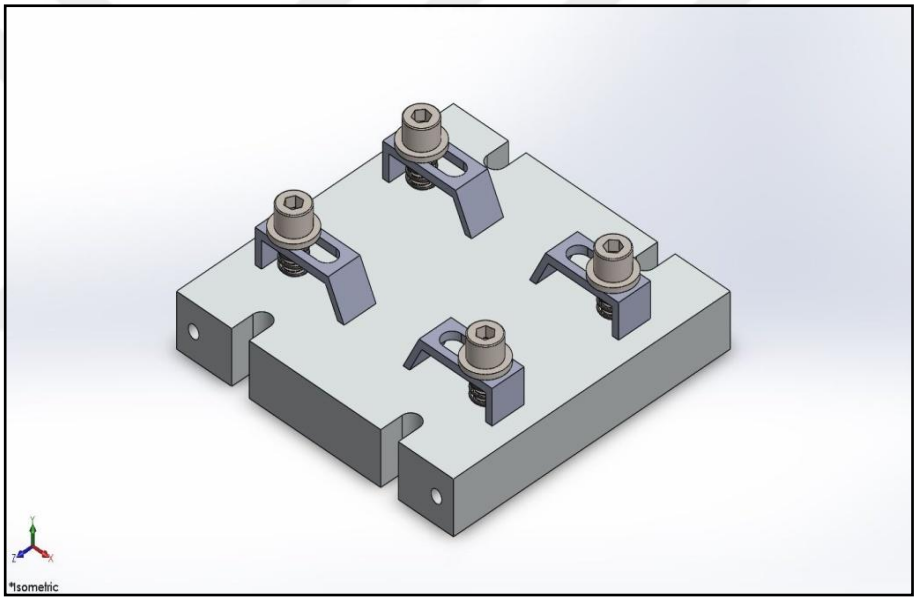
Çizici uç olarak 120° tepe açılı elmas konik uç kullanılmıştır. Uygulanacak kuvvet neticesinde numunenin çizilmesini sağlayacak çizici uç tasarımı gerçekçi ölçülerde modellenmiş olup Şekil 7.21 ile gösterilmiştir.



Şekil 7.21. Çizici uç modellemesi

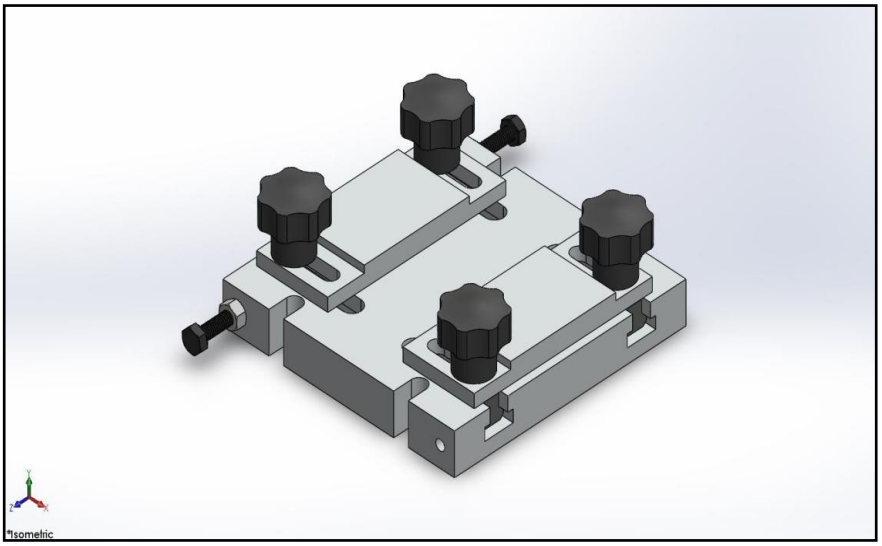
7.1.4. Numune tutucu blok tasarımı

Gezici tabla üzerine sabitlenecek numune tutucu plakanın 130 mm x 130 mm ebatlarında ve 20 mm et kalınlığında olması düşünülmüştür. Tasarımı yapılan ilk numune tutucu blok Şekil 7.22 ile gösterilmektedir. Bu blok, alüminyum bir plaka ile üzerine çeşitli aralıklarla açılmış M8 vida delikleri, yay ve sıkma aparatlarından oluşmaktadır. Sıkma aparatlarına, M8 imbus cıvatalar aracılığıyla uygulanacak sıkma kuvveti neticesinde numunenin sabitlenmesi düşünülmüştür. Ancak numune boyutlarının küçük olması durumunda ve sıkma işleminin tam etkin bir şekilde yapılıp yapılamayacağı konusundaki endişelerden dolayı bu numune tutucu tasarımından vazgeçilmiştir.



Şekil 7.22. Tasarımı yapılan ilk numune tutucu blok

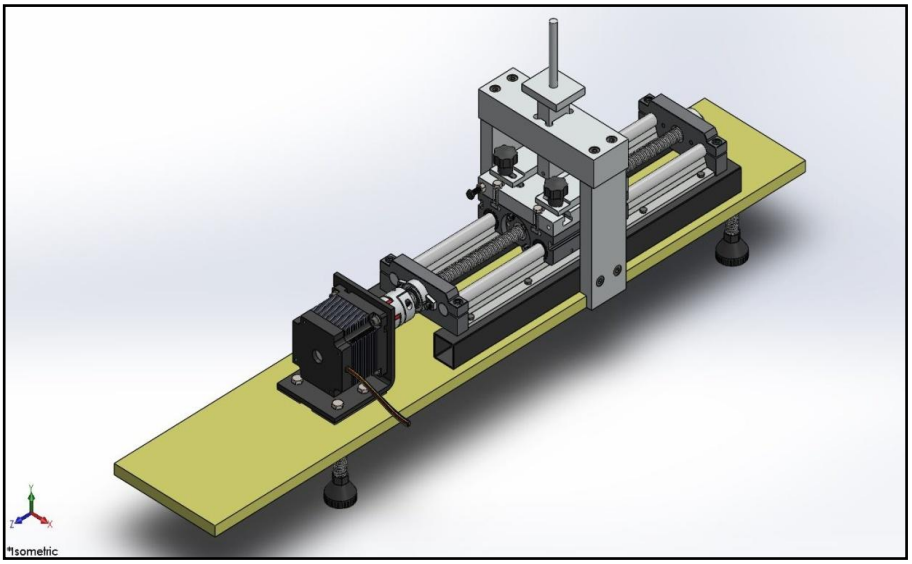
Bu tasarımın yerine, küçük boyutlardaki numuneleri dahi sıkıştırabilecek şekilde kolaylıkla ayarlanabilir bir sistem düşünülmüştür. Bu tasarımda, plaka üzerine T-kanallar açılmak suretiyle, numunenin boyutuna göre sıkıştırma işlemi gerçekleştirilebilecektir. Böylelikle, kanallar içinde hareket edebilecek T-kanal somunları ile numune boyutuna göre sabitleme işlemi rahatlıkla sağlanabilecektir. Şekil 7.23 ile tasarımına karar verilen numune tutucu bloğunun modellenmiş görüntüsü verilmiştir.



Şekil 7.23. Tasarımına karar verilen numune tutucu blok

Şekil 7.23 ile gösterilen numune tutucu blokta toplam kütleyi azaltmak için alüminyum malzeme tercih edilmiştir. Bu bloğu oluşturan elemanlar numune taşıyıcı tabla, baskı plakaları, numuneyi sıkmak için kullanılan M8 vidalı topuz ve T-kanal somunundan oluşmaktadır. Numune tutucu bloğun yan yüzeylerine, tablanın hareketini sınırlamak amacıyla monte edilecek sensörlerin algılayabileceği iki adet M6'lık cıvata için bağlantı delikleri tasarlanmıştır.

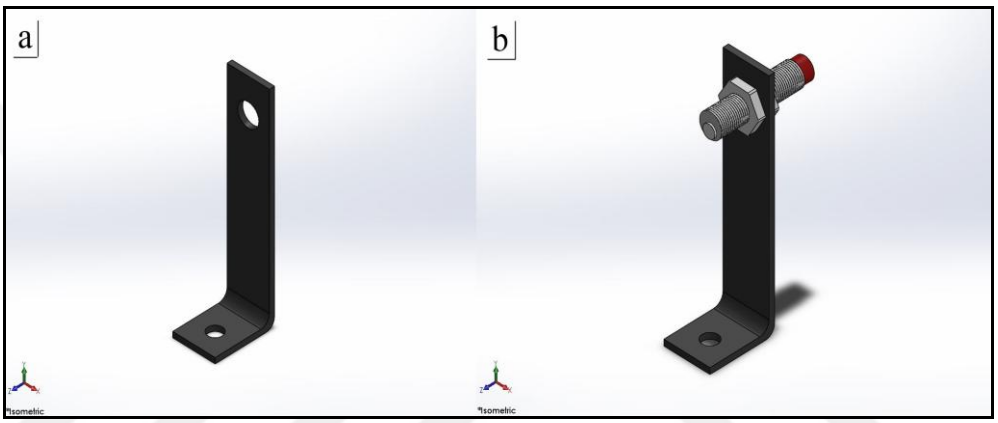
Tasarımı yapılmış olan numune tutucu bloğun gezici tabla üzerine montaj modellemesi SOLIDWORKS® aracılığıyla oluşturulmuş olup Şekil 7.24 ile gösterilmiştir.



Şekil 7.24. Numune tutucu bloğun sisteme montajının modellenmesi

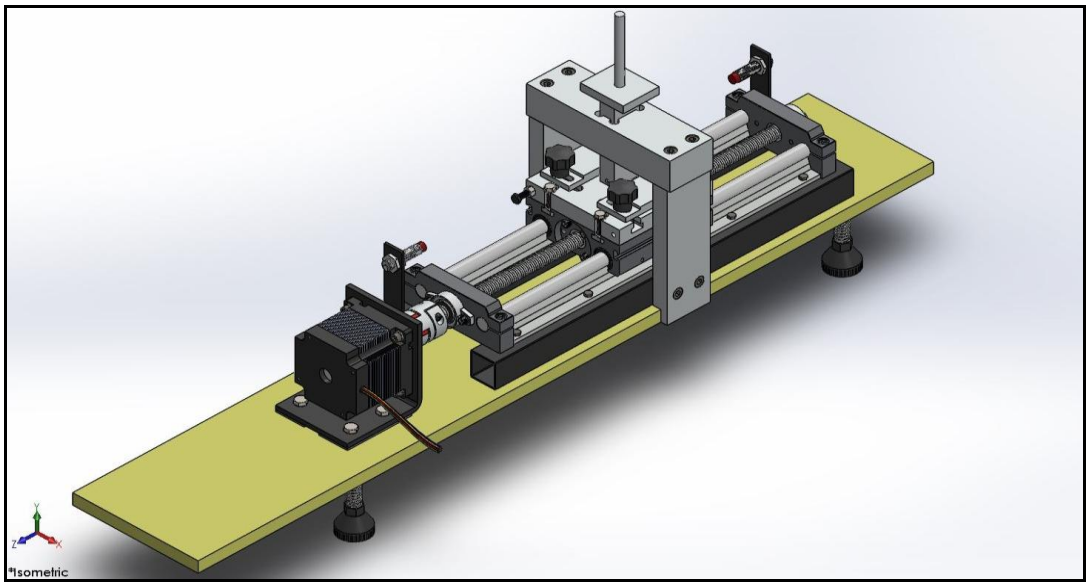
7.1.5. Sensör tutucu aparat tasarımı

Sisteme entegre edilecek olan sensörlerin konumlandırılmasının düzgün yapılabilmesi, sensörlerin iyi bir şekilde çalışması açısından önemlidir. Numune taşıyıcı tabla üzerine monte edilecek M6 cıvatalar ile uyarılacak olan ve dolayısıyla eksenel olarak aynı hizada olması gereken sensörler için tutucu aparat tasarımı aşağıda gösterilmektedir. Şekil 7.25a ile sensör tutucu aparat, Şekil 7.25b ile sensörün tutucu aparata monte edilmiş görüntüsü verilmiştir. Sensör tutucu aparatlar, bir taraftan taban bloğuna diğer taraftan çelik profile monte edilecektir.



Şekil 7.25. a) Sensör tutucu aparat, b) Sensörün tutucu aparata monte edilmiş görüntüsü

Mekanik tasarıma ait montaj modellemesinin nihai görüntüsü Şekil 7.26 ile gösterilmiştir.



Şekil 7.26. Çizilme test cihazının mekanik tasarım modellemesinin nihai görüntüsü

8. ÇİZİLME TEST CİHAZININ İMALATI VE MONTAJI

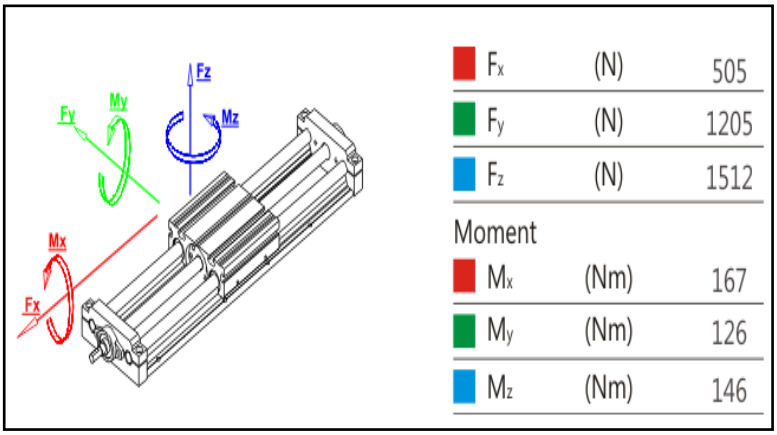
8.1. Mekanik Sistemin İmalatı ve Montajı

Bir önceki bölümde ayrıntılı olarak tasarımı gerçekleştirilmiş olan çizilme test cihazının imalat ve montajına ait aşamalar bu bölümde ele alınmıştır. Hazır olarak temin edilmiş olan vidalı modül Şekil 8.1 ile gösterilmiştir.



Şekil 8.1. Vidalı modül

Vidalı modül dikey eksende 1512 N (154 kg) yükleme kapasitesine sahip olup, maksimum 120 mm/sn hıza kadar çalışabilmektedir. Gezici tabla 130 mm x 130 mm ebatlara sahiptir. Strok (çalışma) mesafesi 300 mm'dir. Kavramaya bağlanacak olan milin çapı 10 mm'dir. Şekil 8.2 ile vidalı modüle ait yükleme değerleri verilmiştir.



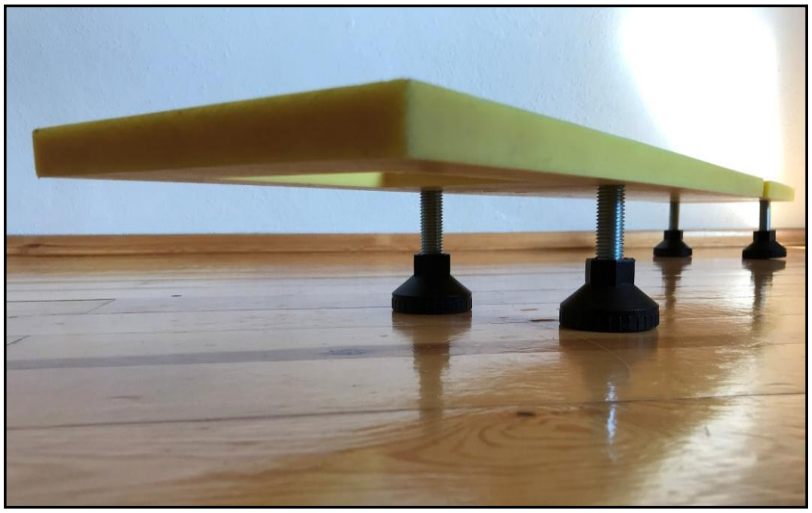
Şekil 8.2. Vidalı modüle ait yükleme değerleri

8.1.1. Step motor ile vidalı modülün montajı

Modelleme aşamasında belirtilen ölçülerde kestirilmiş olan kestamit taban bloğu Şekil 8.3 ile gösterilmiştir. Bu taban bloğu test cihazının gövdesi olup, tüm mekanik aksam bu parça üzerine monte edilmiştir. Elektronik elemanların monte edilebilmesi için dört adet M16 yükseltme ayağı ile zeminden 70 mm yükseltilmiştir (Şekil 8.4).



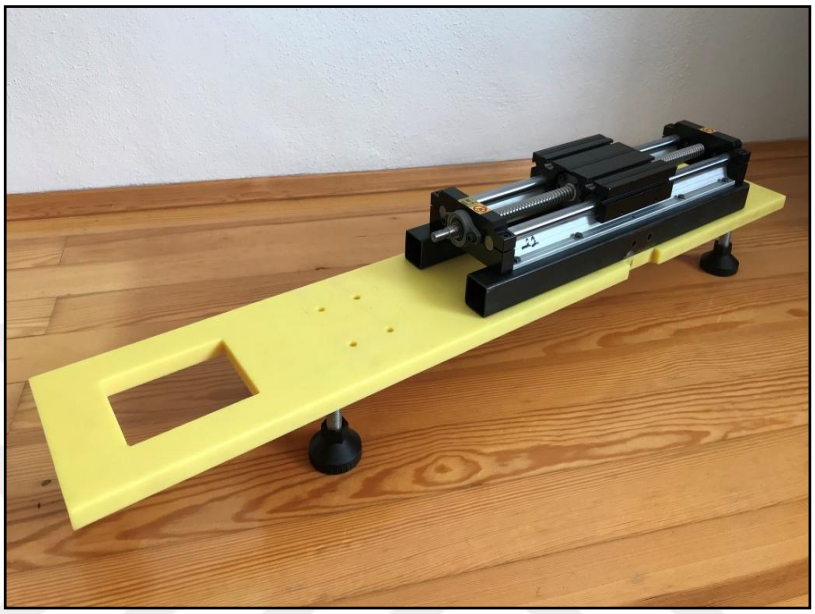
Şekil 8.3. Kestamit taban bloğu



Şekil 8.4. Yükseltme ayaklarının taban bloğuna montajı

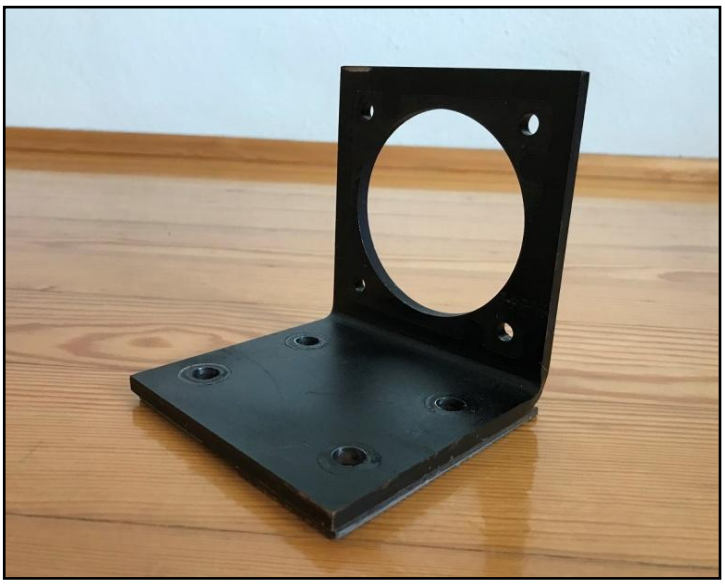
Yükseltme ayaklarının taban bloğuna montajının ardından, blok üzerine açılan 6 mm çaplı delikler sayesinde vidalı modül, 35 mm x 35 mm çelik profillerin desteğiyle bloğun üst yüzeyine sekiz ayrı noktadan M5x70 cıvatalar ile sabitlenmiştir (Şekil 8.5).

Cıvatalama esnasında cıvata başlarının gezici tablaya çarpmamasına dikkat edilmiştir. Aksi takdirde test sırasında bu cıvata başlarının gezici tablayla teması sonucu mil altı destek profilinde, tablada veya lineer rulmanlarda hasara neden olması muhtemeldir.



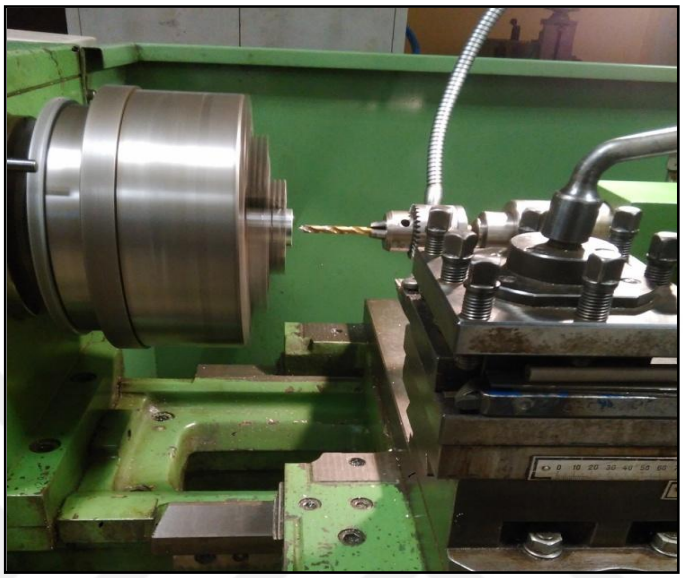
Şekil 8.5. Vidalı modülün çelik profil desteğiyle taban bloğuna sabitlenmesi

Step motoru taban bloğuna sabitlemek için modellemesi daha önceden yapılmış olan flanş, CNC lazer kesim makinesi ile farklı çaplarda delikler oluşturularak, otomatik sac bükme makinesinde 90° bükülmüştür (Şekil 8.6).



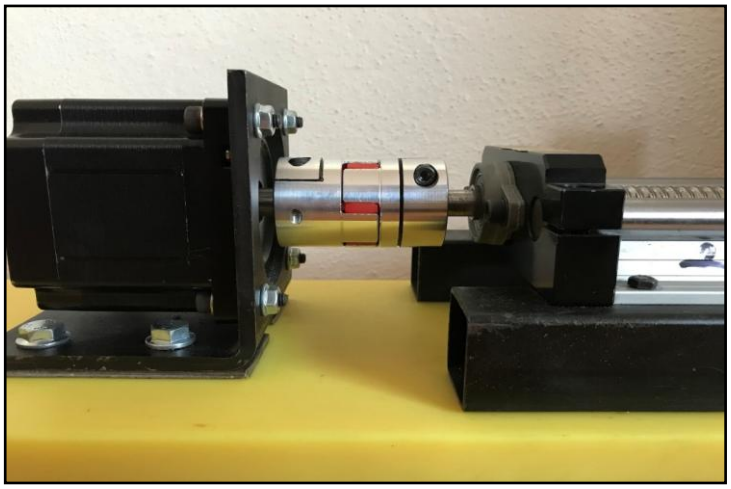
Şekil 8.6. Step motor flanşı

Step motor flanşı dört adet M8x35 cıvata ile taban bloğuna, dört adet M6x25 imbus cıvata ile step motora monte edilmiştir. Step motor ve vidalı modül milinin çaplarına uygun olarak temin edilen elastik kaplin torna tezgahında, pilot delikler genişletilerek uygun ölçüsüne getirilmiştir (Şekil 8.7).



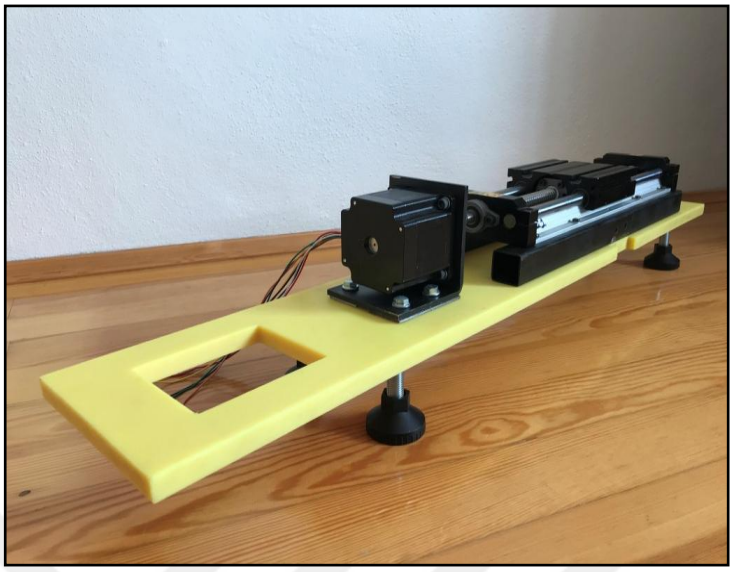
Şekil 8.7. Elastik kapline delik açma işlemi

Torna tezgahında, üzerinde var olan pilot delikler genişletilerek montaja hazır hale getirilen elastik kaplin Şekil 8.8'de gösterildiği gibi sisteme monte edilmiştir. Kaplin üzerinde bulunan imbus cıvatalara gerekli sıkma momenti uygulanarak her iki mili de sıkı bir şekilde kavraması sağlanmıştır. Gerekli sıkma momenti uygulanmadığı takdirde kaplin, mili yeterince kavrayamayacağı için test makinesinin çalışması esnasında vidalı milde kaçırmalar meydana gelebilmektedir.



Şekil 8.8. Step motor ve vidalı milin kaplin bağlantısı

Step motorun flanş aracılığıyla sisteme monte edilmesi Şekil 8.9 ile gösterilmiştir.



Şekil 8.9. Step motorun sisteme monte edilmesi

8.1.2. Çizici uç tutucu ve taşıyıcısının imalatı ve montajı

Çizici uç taşıyıcısı olan dikey lamalar (Şekil 8.10) çelik profillere M8x65 imbus cıvatalar ile sabitlenmiştir. Taban bloğu kalınlığının 15 mm olması sebebiyle dikey lamaların çelik profillere monte edilmesi tercih edilmiştir. Dikey lamaların, profillerin yüzeylerine boşluksuz bir şekilde yerleşmesi için kestamit blok, freze ile 13 mm oyulmuştur. Böylece lamalar hem blok içerisine kısmen gömülmüş hem de profillere temas ederek bağlantısı rijit bir şekilde sağlanmıştır.

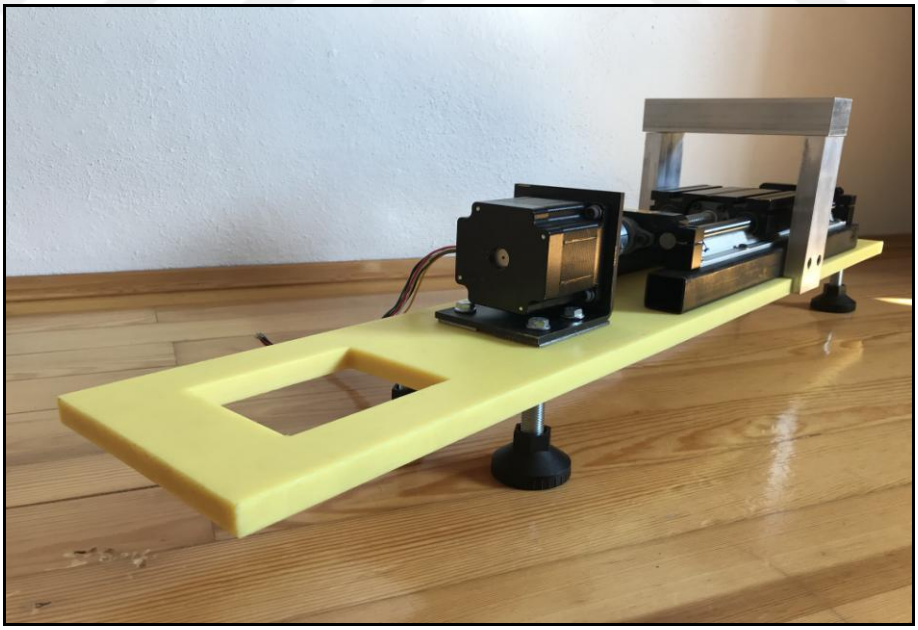


Şekil 8.10. Dikey lamalar

Çizici uç tutucunun içerisinden geçeceği yatay lama kanalı, 35 mm x 20 mm ebatlarında dikdörtgen kesitli olup parmak freze ile işlenmiştir (Şekil 8.11). İmalat sırasında dikdörtgen kanalın dört kenarına da 10 mm çapında matkap ile boydan boya delik açılmıştır. Ardından parmak freze ile kanal istenen ölçülere getirilmiştir. Şekil 8.12 ile lamaların sisteme monte edilmiş görüntüsü verilmiştir.



Şekil 8.11. Yatay lama kanalının parmak freze ile işlenmesi



Şekil 8.12. Dikey ve yatay lamanın sisteme monte edilmiş görüntüsü

Üç parçadan oluşacak şekilde tasarımı yapılmış olan çizici uç tutucunun alt yüzeyine, çizici ucun monte edilebilmesi için 6,5 mm çap ve 15 mm derinliğe sahip delik frezede açılmıştır (Şekil 8.13). Çizici ucu, M6 setskur cıvata ile tespit edebilmek

(tutabilmek) için yanal yüzeylerden delikler açılmıştır. Yük bloklarının dengede kalabilmesi için tasarlanan mile pafta çekme işlemi ile diş açılarak çizici uç tutucuya vidalı birleştirme yöntemiyle monte edilmiştir (Şekil 8.14). Yük bloklarını oturtmak amacıyla 60 mm x 50 mm ebatlarındaki lamanın merkezine 11 mm çapında delik açılarak bu milden geçmesi sağlanmıştır ve bu parça, çizici uç tutucuya alüminyum kaynak ile kaynatılmıştır. Çizici uç tutucunun nihai görüntüsü Şekil 8.15 ile gösterilmiştir.



Şekil 8.13. Çizici uç tutucunun imalatı



Şekil 8.14. Çizici uç tutucu mile pafta çekme işlemi



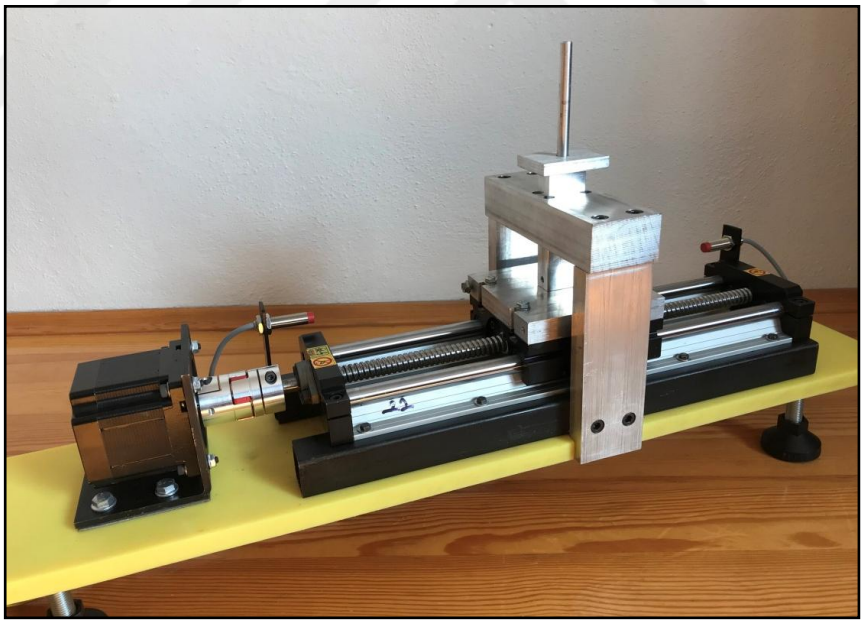
Şekil 8.15. Çizici uç tutucunun nihai görüntüsü

8.1.3. Sensör tutucu aparat imalatı ve montajı

Sensör tutucu aparat (Şekil 8.16) yardımıyla çelik profil ve taban bloğuna monte edilmesi sağlanan sensörler, tablanın hareketini kısıtlama görevi görmektedir. Sensör tutucu aparat uygun ölçülerde modellendikten sonra CNC plazma kesim ile üzerindeki delikler açılmış olup, otomatik sac bükme makinesinde 90° bükülmüştür. Tablaya yerleştirilen M6 cıvata başlarının hizasına gelecek şekilde tasarımı yapılan sensör tutucu aparatlara monte edilen sensörler, PLC'ye verdikleri direktif ile step motor milinin ters yönde anahtarlanmasını sağlamaktadırlar. Böylece tablanın mil ucu destek elemanına çarpıp sistemin herhangi bir hasarla karşılaşması da engellenmektedir. Şekil 8.17 ile, sensörlerin sisteme monte edilmiş görüntüsü verilmiştir.



Şekil 8.16. Sensör tutucu aparat



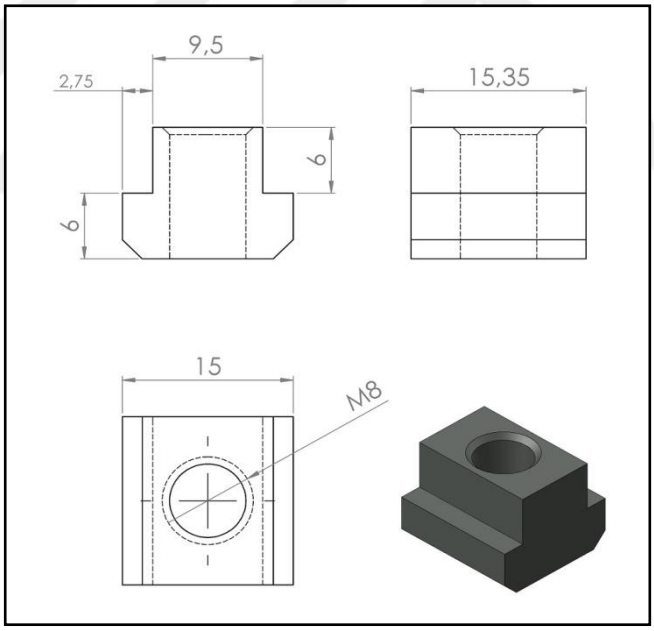
Şekil 8.17. Sensörlerin sisteme monte edilmiş görüntüsü

8.1.4. Numune tutucu blok imalatı ve montajı

Gezici tabla ile aynı boyutlarda temin edilen numune taşıyıcı tabla üzerine, T-kanal freze çakısı ile 50 mm uzunluğunda dört adet kanal açılmıştır (Şekil 8.18). Bu kanalların işlenmesi, M8 T-kanal somun boyutları esas alınarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 8.19).



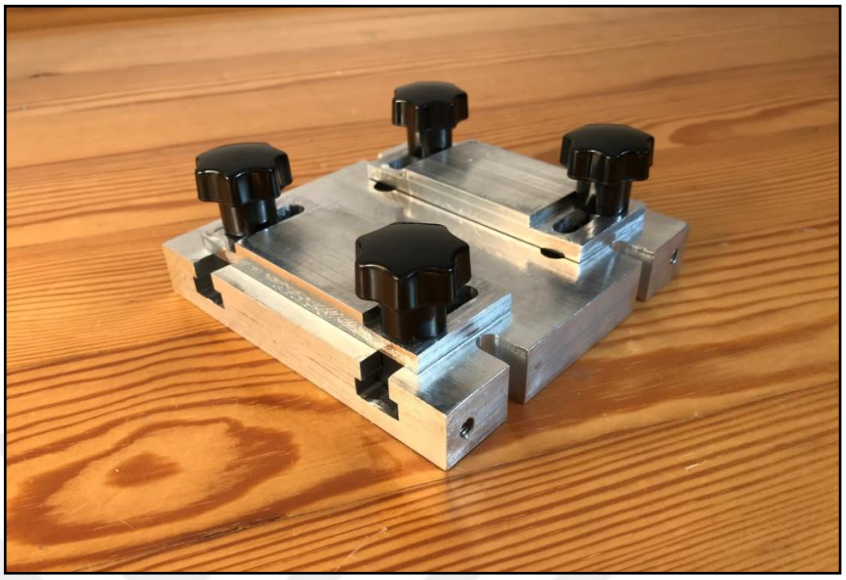
Şekil 8.18. Numune taşıyıcı tablaya T-kanal açma işlemi



Şekil 8.19. T-kanal somun ölçüleri

Öncelikle, 10 mm çapa sahip parmak freze ile 50 mm uzunluğunda düz bir kanal açılmıştır. Ardından büyük çapı 16,5 mm, küçük çapı 8 mm olan T-kanal freze çakısı ile T-somun ölçülerine göre bu kanal açılmıştır. Kanal açma işleminden sonra uygun boyutlarda temin edilen baskı plakaları üzerine sıkma topuz vidasının geçeceği bir başka kanal açılmıştır. Böylelikle sıkma topuzu, numune boyutuna göre kanal içinde

çeşitli konumlarda sıkılarak numune sabitleme işlemi sağlanmış olacaktır. Şekil 8.20 ile numune tutucu bloğun imal edilmiş görüntüsü verilmektedir.



Şekil 8.20. Numune tutucu bloğun imal edilmiş görüntüsü

8.2. Otomasyon Sistem Elemanlarının Tanıtımı ve Montajı

8.2.1. Otomasyonun önemi

Tüm dünyanın açık bir pazar haline geldiği rekabetçi şartlarda üretimi hızlı, standart, güvenli, verimli kılmak bir zorunluluk olmuştur. Günümüz koşullarında rekabetin iyice arttığı, maliyetlerin yükseldiği, teknolojinin iyice ilerlediği bu dönemde, insan gücünün yetişmediği yerlerde otomasyon sistemine ihtiyaç duyulmuştur. Bunun haricinde çalışan bir kişinin işletmeye olan yüksek maliyeti de bu sisteme geçişi hızlandırmıştır. Zira otomasyon bir kerelik yatırım gerektiren ve uzun yıllar hatasız çalışabilen sistemler bütünüdür. Bir sistemi otomatikleştirmek için yapılan tüm çalışmalara otomasyon denir. Genel anlamda otomasyon, insan müdahalesine gerek kalmadan işlemleri gerçekleştiren ve kontrolünü sağlayan sistemlerdir. Test cihazının fonksiyonelliğini artıran bir unsur da otomasyon ile entegre etme işlemidir. Bir ekran üzerinden verilecek komutlarla test işlemi kolaylıkla gerçekleştirilebilecektir. Test cihazının otomasyon sistemi; güç kaynağı, PLC, step motor, step motor sürücüsü, sensörler ve dokunmatik ekrandan oluşmaktadır.

8.2.2. Otomasyon sistem elemanları

8.2.2.1. Step motor

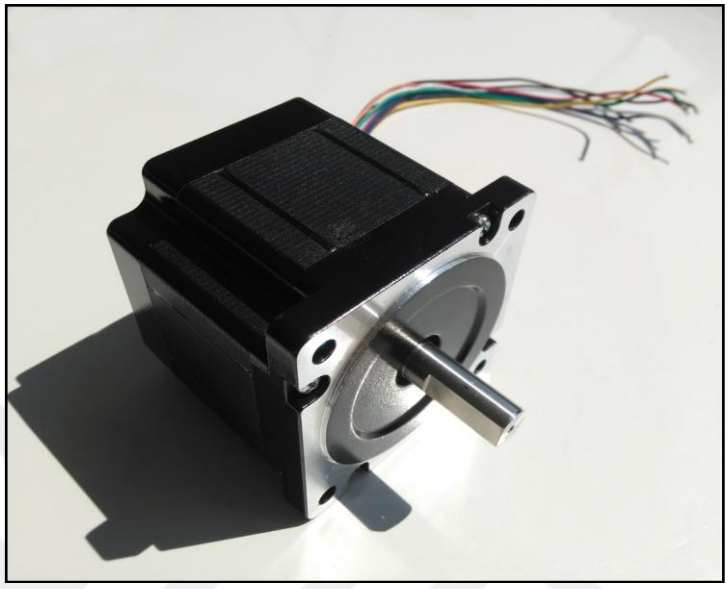
Step motor, test cihazında vidalı mili tahrik edecek olan, elektrik enerjisini dönme hareketine dönüştüren elektromanyetik cihazdır. 4,5 Nm tutma torku değerine sahip, 4,2 A akım değerinde, 13,23 W gücündedir. Step motorun kütlesi 2,4 kg'dır. Motor milinin çapı 12,7 mm'dir. 4,5 Nm tork değerine sahip step motorun seçilmesi, test cihazında sadece polimerlere değil aynı zamanda metalik malzemelere de çizilme, aşınma testini uygulamak içindir.

Açısal konumunu adımlar halinde değiştiren, çok hassas sinyallerle sürülen motorlara step (adım) motor denir. Adım motorları, belirli adımlarla hareket eder. Bu adımlar, motorun sargılarına uygun sinyaller gönderilerek kontrol edilir. Herhangi bir uyarıda motorun yapacağı hareketin ne kadar olacağı motorun adım açısına bağlıdır. Test cihazında kullanılan step motor bir tam turda 200 adım ilerlemektedir. Bu da 1,8°'lik bir adım açısı demektir. Bu değer 360 sayısının, bir tam turda ilerlediği adım miktarı olan 200 sayısına bölünmesinden elde edilir ve step motorların katalog değerlerinde belirtilir. Step motor hassasiyeti için önemli bir kavramdır. Adım açısı motorun hassasiyetini simgeler. Daha düşük adım açıları daha hassas bir motor anlamına gelmektedir. Örneğin bir tam turunu 400 adımda tamamlayan bir step motor 0,9°'lik adım açısına sahip olacaktır ve daha hassas bir sonuç elde edilecektir. Şekil 8.21 ile test cihazında kullanılacak olan step motor gösterilmiştir.

Step motorlar girişlerine uygulanan sinyallere karşı analog dönme hareketi çıkışı üreten, bu dönme hareketini adım adım ve çok hassas kontrolle sağlayan rotor, stator ve rulmanlardan oluşmaktadır. Rulmanlar, rotora bağlı şaftın rahat hareket etmesini sağlarlar. Statorun birden fazla kutbu vardır. Kutup sayısı motordan motora değişmektedir ancak genellikle bu sayı sekizdir. Bunlar sarı, kırmızı, kahverengi, mavi, beyaz, turuncu, yeşil, siyah renklerden oluşmaktadır. Kutupların polaritesi elektronik anahtarlar vasıtasıyla sürekli değişmektedir [41].

Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği (NEMA) step motorlar da dahil bütün elektrikli ürünler için standartlar belirlemiştir. Step motorlar, boyut 17, boyut 23, boyut 34, boyut 42 gibi kavramlarla kategorize edilmiştir. NEMA standartları step motorların

boyutlarıyla ilgilidir. NEMA 17 1,7 inch, NEMA 23 2,3 inch, NEMA 34 3,4 inch ebatlarda flanş ölçüsüne sahip step motorları simgelemektedir [41]. NEMA 34 step motor, tasarlanan test cihazında kullanılacak olan step motordur.



Şekil 8.21. Step motor

8.2.2.2. Step motor sürücüsü

Step motoru kontrol etmek için gerekli olan elektronik cihaz ise step motor sürücüsüdür. Step motor sürücüsü, step motorun işlevlerini yerine getirebilmesi için motora komut vermeye yarar. Bir diğer ifadeyle, step motor ve step motor sürücüleri birbirleriyle etkileşim içinde çalışmaktadır. Step motorun akım değerine göre sınıflandırılan bu sürücüler, aynı zamanda step motoru aşırı akıma karşı koruma vazifesi de görmektedir. 2 faz motorlar için ayrı, 3 faz motorlar için ayrı step motor sürücüleri bulunmaktadır. Bu test cihazında kullanılan step motor 2 faz olduğu için, 2 faz step motor sürücüsü tercih edilmiştir. Şekil 8.22 ile step motor sürücüsü gösterilmektedir. Step motorun çalışması için gerekli olan sinyalleri programlanabilir mantık denetleyiciden alarak step motora aktarır ve onu kontrol eder. Çalışma gerilimi 24 V DC ile 50 V DC aralığındadır. Sistemden 1,5 A ile 5,6 A aralığında akım çeken step motorlarda kullanılabilir.



Şekil 8.22. Step motor sürücüsü

8.2.2.3. Endüktif sensör

Test cihazında iki adet endüktif sensör bulunmaktadır. Endüktif sensör, metal cinsinden olan malzemeleri görüp sinyal üreten elektronik cihazlardır. Test cihazında vidalı modülün uç kısımlarına yerleştirilen sağ ve sol sensörler güvenlik amaçlıdır. Herhangi bir pals (sinyal) kaçırılması durumunda gezici tabla vidalı milin yataklarına doğru hareket etmeye devam ederse, sensörler gezici tablaya monte edilen M6 cıvataları görüp PLC'ye gönderdiği sinyaller sayesinde step motorun durmasını ve dolayısıyla tablanın yataklara çarpmasının önüne geçerek makinenin zarar görmesini engelleyeceklerdir. Sistemde kullanılacak olan endüktif sensör Şekil 8.23 ile gösterilmiştir.



Şekil 8.23. Endüktif sensör

8.2.2.4. Güç kaynağı

Test cihazının enerji ihtiyacını karşılayacak olan eleman güç kaynağıdır. Güç kaynağı, 220 V AC şebeke geriliminden aldığı voltajı daha küçük miktarlarda gerilime dönüştüren elemanlardır. Güç kaynağı 24 V gerilim, 5 A akım ve 120 W güce sahiptir. Güç kaynağının akım değeri, sistemdeki tüm elemanların çektiği akım değeri kadar veya daha fazla olmalıdır. Step motorun standart değerlerde çalışabilmesi için 48 V gerilim ile beslenmesi gerektiğinden sistemde iki adet güç kaynağı kullanılmıştır. Şekil 8.24 ile güç kaynağı gösterilmektedir.



Şekil 8.24. Güç kaynağı

8.2.2.5. HMI dokunmatik panel

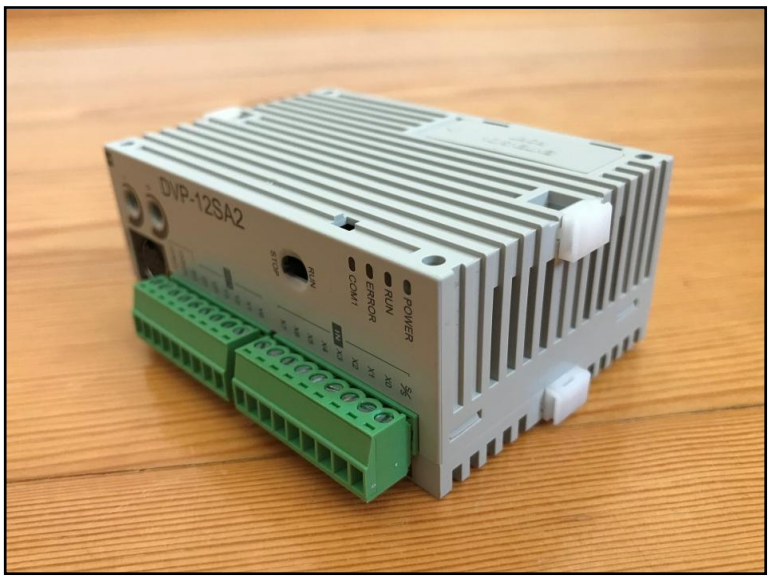
Test cihazının kontrolü HMI (Human Machine Interface) dokunmatik panel üzerinden sağlanacaktır. 4,3 inch ekran büyüklüğüne sahip olan bu dokunmatik panel 24 V besleme ile çalışmaktadır. Testin başlatılması, durdurulması, gezici tablanın konumunun ayarlanması, aşındırma mesafesi, home pozisyonu, hız ayarı gibi komutlar bu ekran üzerinden yapılacaktır. HMI dokunmatik paneli sisteme monte etmek için, veri sayfasında (data sheet) belirtilen ölçüler baz alınarak taban bloğu üzerine üç eksenli CNC kesim makinesi yardımıyla bir kanal açılmıştır. Şekil 8.25 ile test cihazında kullanılacak olan HMI dokunmatik panel gösterilmiştir.



Şekil 8.25. HMI dokunmatik panel

8.2.2.6. Programlanabilir mantık denetleyici

Test cihazındaki tüm komutları yerine getiren, içerisinde bulunan ladder diyagramları ile tüm sistemin kontrolünü sağlayan, test cihazının en önemli elemanı PLC (Programmable Logic Controller)'dir. Türkçe karşılığı programlanabilir mantık denetleyici olan bu cihaz, giriş ve çıkış birimlerinden oluşmaktadır. Giriş birimleri X, çıkış birimleri Y ile başlayan terimlerdir. Giriş birimlerine sensörler ve güç kaynağından gelen eksi (-) kutup bağlanır. Şekil 8.26 ile test cihazında kullanılacak olan PLC gösterilmektedir.



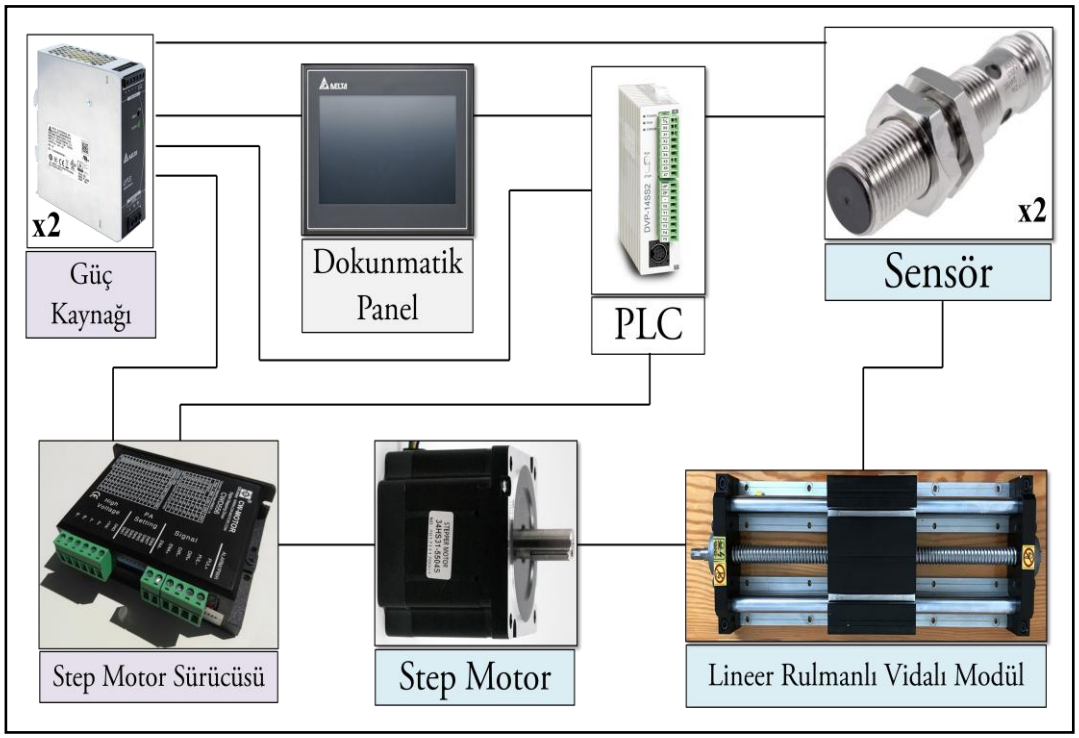
Şekil 8.26. Programlanabilir mantık denetleyici

"POWER", "RUN", "ERROR", "COM1" gösterge lambaları ile anlık olarak PLC'nin işleyiş bilgisi alınabilmektedir. Test cihazı normal bir şekilde çalışır durumdayken veya test yapılıyorken "POWER" ve "RUN" gösterge lambaları yeşil renkte yanmaktadır. Besleme voltajı 20,4 V DC ile 28,8 V DC aralığında olmalıdır. Eğer besleme voltajı 17,5 V DC altına düşerse, PLC çalışmayı durdurur, tüm çıkışları "OFF" olur ve "ERROR" gösterge lambası sürekli yanar.

Sensör arızası, step motor arızası gibi sebeplerden ötürü test cihazı herhangi bir şekilde yanlış bir işleyiş içerisine girerse PLC, arıza durumuna geçerek "ERROR" durum lambasının kırmızı renkte uyarı vermesini sağlar. Böylelikle kullanıcı, sistemde bir arıza olduğunu anlar ve hata teşhisi için olası durumları inceler.

8.2.3. Otomasyon sisteminin programlanması

Bölüm 7'de, mekanik sistem elemanlarının tasarım, imalat ve montajı oluşturulmuş olan çizilme test cihazının otomasyon sisteminin programlanması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, vidalı modülün istenilen hızda hareket edebilmesi için bir PLC yazılımı oluşturulmuştur. Test cihazına ait PLC bağlantı şeması Şekil 8.27 ile gösterilmiştir.



Şekil 8.27. Test cihazının PLC bağlantı şeması

Step motorun çalışma voltajı, veri sayfasında belirtildiği üzere 3,36 V'dur. Bu değer, motorun düşük hızlarda çalıştığı, düşük miktarlarda tork ürettiği gerilim değeridir. Yeterli miktarlarda hız ve tork değeri istendiği takdirde gerilim değerinin artırılması gerekmektedir. Bu yüzden test cihazını 24 V DC gerilim, 5 A akım ve 120 W gücünde iki adet güç kaynağı beslemektedir. Step motordan yeterli miktarda hız ve tork değeri alınabilmesi için önerilen gerilim değeri, ürün veri sayfasında belirtildiği üzere 48 V'dur. Bu amaçla, iki adet 24 V gerilime sahip güç kaynağı seri bağlantı ile birleştirilerek 48 V elde edilmiştir. 220 V AC şebeke geriliminden gelen güç kablosu, birinci güç kaynağının L (Load, +) ve N (Neutral, -) kutbuna bağlanmıştır. Birinci güç kaynağının L (+) kutbu, ikinci güç kaynağının N (-) kutbu ile; birinci güç kaynağının N (-) kutbu, ikinci güç kaynağının L (+) kutbu ile birleştirilmiştir. Böylece seri bağlantı ile 48 V gerilim elde edilmiştir. Güç kaynağı üzerinde bulunan ayar (adjust) düğmesi ile gerilim (voltaj) değeri değiştirilebilmektedir. Şekil 8.28 ile, seri bağlantı yöntemiyle birleştirilen iki güç kaynağının bir görüntüsü verilmiştir.

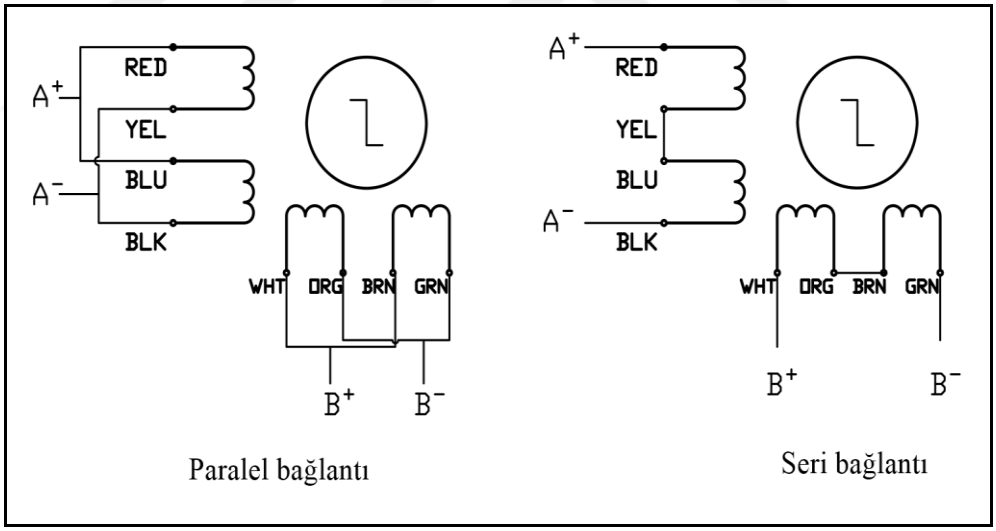


Şekil 8.28. İki güç kaynağının seri bağlantı ile birleştirilmesi

Vidalı mile tahrik uygulayıp, numunenin bağlı olduğu tablanın ileri-geri hareketini sağlayacak olan eleman step motordur. Step motorlar DC gerilim ile çalışan elektromanyetik cihazlardır. Gerilim alabilmeleri için bir güç kaynağına ihtiyaç duyarlar. Bir diğer ifadeyle, step motorlar doğrudan 220 V AC şebeke gerilimi ile çalıştırılamazlar. Step motorun şebeke gerilimi ile beslenmesi durumunda bobinler, aşırı gerilim ile tetikleneceği için çabucak kullanılamayacak duruma gelirler.

Step motordan; mavi, yeşil, kahverengi, turuncu, siyah, beyaz, sarı ve kırmızı renklerde olmak üzere sekiz adet kablo çıkışı olmaktadır. Bunlar step motorun güç kablolarıdır. Bu güç kabloları, step motor sürücüsü üzerinde bulunan A+, A-, B+, B- portlarına step motorun veri sayfasında belirtildiği üzere bağlantısı yapılmalıdır. Yapılacak olan bu bağlantı şekli paralel bağlantı olmalıdır. Mavi ve kırmızı kablolar birleştirilerek sürücünün A+ portuna, siyah ve sarı kablolar birleştirilerek sürücünün A- portuna, kahverengi ve beyaz kablolar birleştirilerek sürücünün B+ portuna, turuncu ve yeşil kablolar birleştirilerek sürücünün B- portuna bağlantısı yapılmıştır. Sürücünün +Vdc portu ile güç kaynağının artı (+) kutbunun bağlantısı yapılmıştır. Step motor sürücüsü, çalışması için gerekli olan beslemeyi (enerjiyi) bu bağlantı üzerinden alacaktır.

Şekil 8.29 ile, step motor ve sürücü arasındaki bağlantı türlerinin şeması gösterilmektedir. Step motor ile sürücünün ilişkilendirilmesi, paralel bağlantı yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8.29. Step motorun bağlantı şemaları

Step motoru kontrol etmek için gerekli olan elektronik cihaz step motor sürücüsüdür. Step motor sürücüsü, step motorun işlevlerini yerine getirebilmesi için motora komut vermeye yarar. Sürücü, step motorun çalışması için gerekli olan sinyalleri programlanabilir mantık denetleyiciden alarak step motora aktarır ve onu kontrol eder. Sürücü üzerinde bulunan tabloda anahtar (switch) anlamına gelen SW1, SW2, SW3 gibi terimler bulunmaktadır. Bunlar sürücünün jumper ayarlarıdır. Bir diğer ifadeyle, step motorun çektiği akım ve pals/devir oranı ile ilgilidir.

Tablo 8.1 ile akım tablosu verilmiştir. Step motor 4,2 A olduğu için, RMS (Root Mean Square) değerine karşılık gelen 4,0 A değeri baz alınıp anahtarlar SW1 "ON", SW2 "ON", SW3 "ON" olacak şekilde ayarlanmalıdır.

Tablo 8.1. Akım tablosu

Peak	**RMS**	**SW1**	**SW2**	**SW3**
Default		OFF	OFF	OFF
2.1A	**1.5A**	ON	OFF	OFF
2.7A	**1.9A**	OFF	ON	OFF
3.2A	**2.3A**	ON	ON	OFF
3.8A	**2.7A**	OFF	OFF	ON
4.3A	**3.1A**	ON	OFF	ON
4.9A	**3.5A**	OFF	ON	ON
5.6A	**4.0A**	ON	ON	ON

SW4 genellikle "OFF" konumuna getirilir. Bu anahtar, motor sabit durmaya başladığı andan itibaren 0,5 saniye sonra akımın otomatik olarak yarıya düştüğünü göstermektedir. SW4 "ON" seçilmesi durumunda motor durduğu esnada dinamik akım ile durma akımı eşit olacaktır. Veri sayfasında belirtildiği üzere SW4, motorun ve sürücünün ısınmasını minimuma indirgemek için "OFF" konumuna getirilmelidir. Tüm bu jumper ayarlarının sistemde gerilim yokken yapılmasına dikkat edilmelidir.

Step motor sürücüsündeki bir diğer belirlenmesi gereken ayar, pals/dv oranını seçmektir. Step motor 1,8° adım açısına sahiptir. Bir tam tur 360° olduğuna göre, step motor bir tur dönüşünü 200 adımda yapmaktadır. Fakat sürücüler ile bu oran artırılabilmektedir ve böylelikle çok daha hassas dönme miktarları elde edilebilmektedir. Tablo 8.2'de pals/dv oranları ve bu oranlara karşılık gelen anahtar konumlandırmaları verilmiştir. Bu çalışmada kullanılacak olan step motor sürücüsünün microstep 4 özelliğinden faydalanılarak, step motorun hassasiyet oranı dört kat artırılacak olup bu oran 800 pals/dv'e karşılık gelmektedir. Step motor sürücüsü üzerindeki 800 pals/dv satırına karşılık gelen SW anahtarları sırasıyla "OFF", "ON", "ON" ve "ON" konumuna getirilmiştir.

Tablo 8.2. Pals/dv tablosu

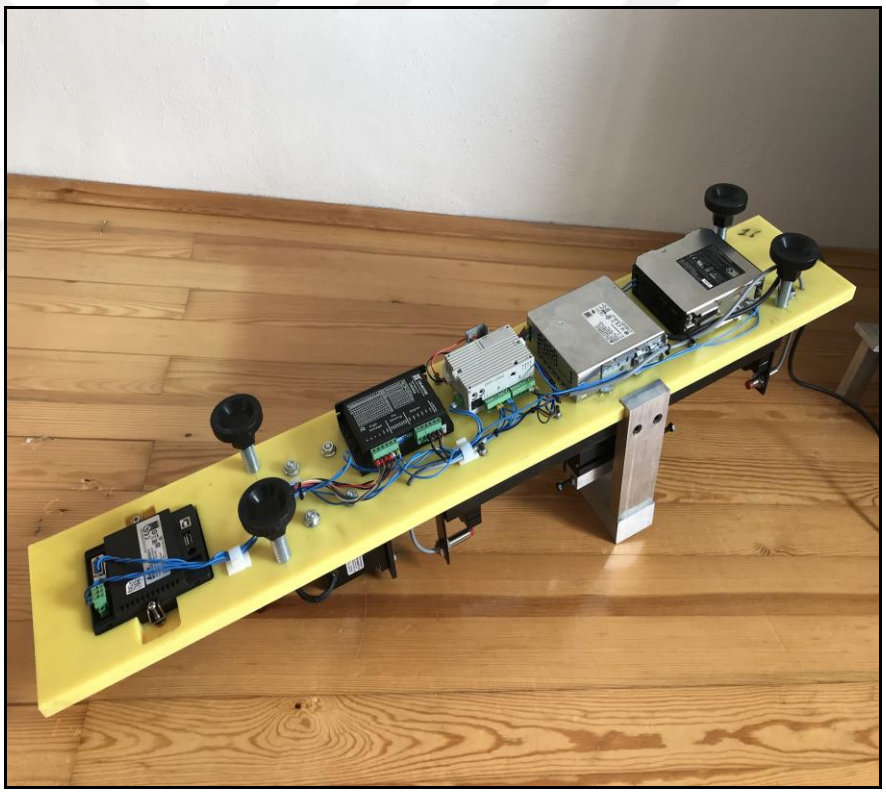
Pulse/Rev	SW5	SW6	SW7	SW8
Default	ON	ON	ON	ON
800	OFF	ON	ON	ON
1600	ON	OFF	ON	ON
3200	OFF	OFF	ON	ON
6400	ON	ON	OFF	ON
12800	OFF	ON	OFF	ON
25600	ON	OFF	OFF	ON
51200	OFF	OFF	OFF	ON
1000	ON	ON	ON	OFF
2000	OFF	ON	ON	OFF
4000	ON	OFF	ON	OFF
5000	OFF	OFF	ON	OFF
8000	ON	ON	OFF	OFF
10000	OFF	ON	OFF	OFF
20000	ON	OFF	OFF	OFF
40000	OFF	OFF	OFF	OFF

Sürücünün GND portu ile dokunmatik operatör panelinin 0 V (sıfır volt) girişi, yine sürücünün GND portu ile PLC'nin ZP girişinin bağlantısı yapılmıştır. Sürücünün PUL+ ve DIR+ portlarına bağlanan 1/4 W gücünde ve 1 kΩ'luk iki direnç birbirlerine bağlanan kablo ile operatör panelinin 24 V girişine, kablonun diğer ucu ise PLC'nin UP portuna gitmektedir. PUL- portundan çıkış yapan kablo, 1/4 W gücünde ve 1 kΩ'luk direnç ile PLC'nin Y0 portuna; DIR- portundan çıkış yapan kablo yine 1/4 W gücünde ve 1 kΩ'luk direnç ile PLC'nin Y1 portuna gitmektedir.

Sistemde iki adet sensör kullanılmıştır. Bu sensörler tablanın mil ucu destek elemanına çarpmasını engellemek için sisteme entegre edilmiştir. Aynı zamanda sensörlerden bir tanesi home pozisyonu için kullanılacaktır. Sensörlerden bir tanesi PLC'nin X0, diğerinin ise X1 giriş birimine bağlantısı yapılmıştır. Sensörlere gerekli beslemeyi sağlayacak bağlantıda ise güç kaynağının artı (+) ve eksi (-) birimleri kullanılmıştır. Sensörde bulunan mavi, kahverengi ve siyah üç kablodan siyah olanı

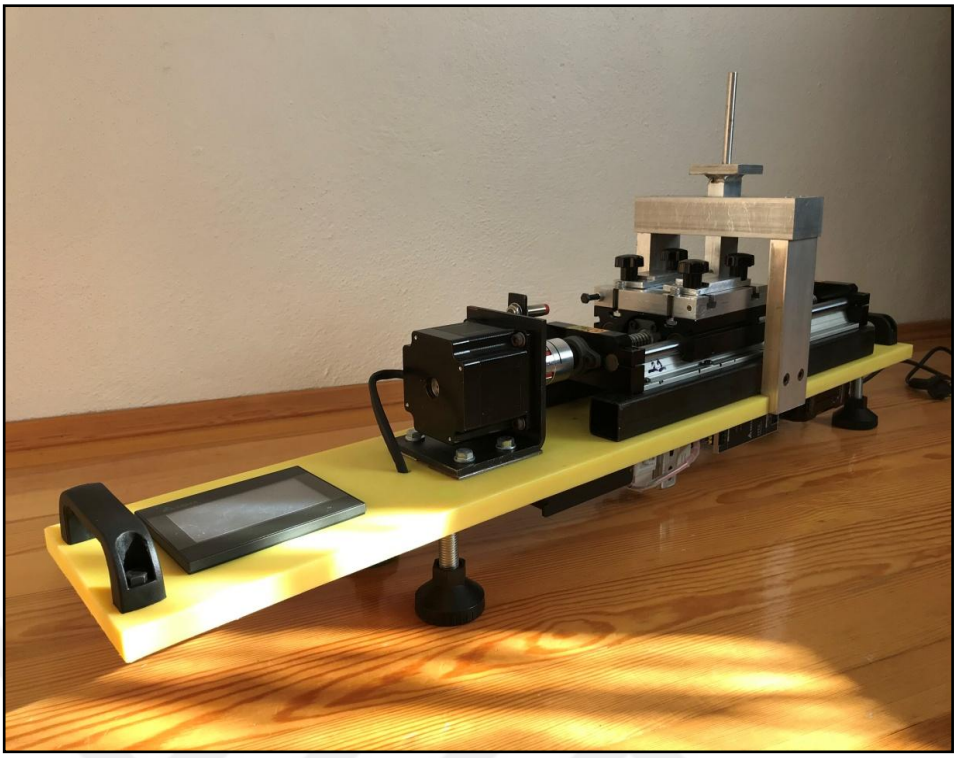
PLC'nin giriş birimine, mavi olanı güç kaynağının eksi (-) kutbuna, kahverengi olanı ise güç kaynağının artı (+) kutbuna bağlanmıştır.

PLC, step motor sürücüsü ve iki adet güç kaynağı kestamit bloğun alt kısmına monte edilmiştir. Bu noktada, kullanılan yükseltme ayaklarının etkisi büyüktür. Dört adet M16 yükseltme ayağı sayesinde kestamit blok, zeminden 75 mm yükseğe kaldırılmıştır. Bundan yararlanarak elektronik elemanlar bloğun alt yüzeyine monte edilmiş olup Şekil 8.30 ile bu aşama gösterilmiştir. Eğer yükseltme ayakları sisteme monte edilmeseydi PLC, güç kaynağı, step motor sürücüsü gibi elemanlar için ayrıyeten bir pano gerekecekti. Bu da test cihazının portatif bir cihaz olmasının önüne geçmiş olacaktı. Tasarlanan bu şekliyle sistem rahatlıkla taşınabilecek bir cihaz halini almıştır.

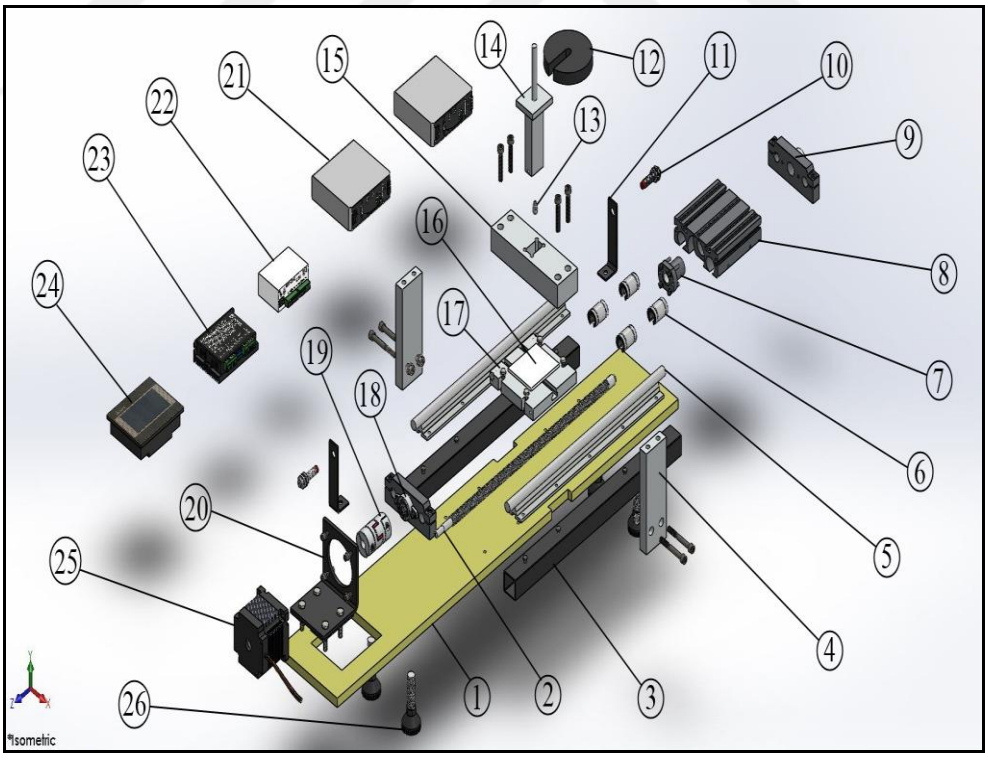


Şekil 8.30. HMI dokunmatik panel, PLC, güç kaynağı ve step motor sürücüsünün sisteme monte edilmiş görüntüsü

İmalat ve montajı tamamlanmış olan çizilme test cihazının görüntüsü Şekil 8.31 ile gösterilmiştir. Çizilme test cihazı modellemesinin demonte edilmiş görüntüsü ise Şekil 8.32 ile gösterilmiştir. Ayrıca cihazı oluşturan elemanların malzeme cinsi ve adetleriyle birlikte listesi Tablo 8.3'de verilmiştir.



Şekil 8.31. İmalatı ve montajı tamamlanan test cihazı



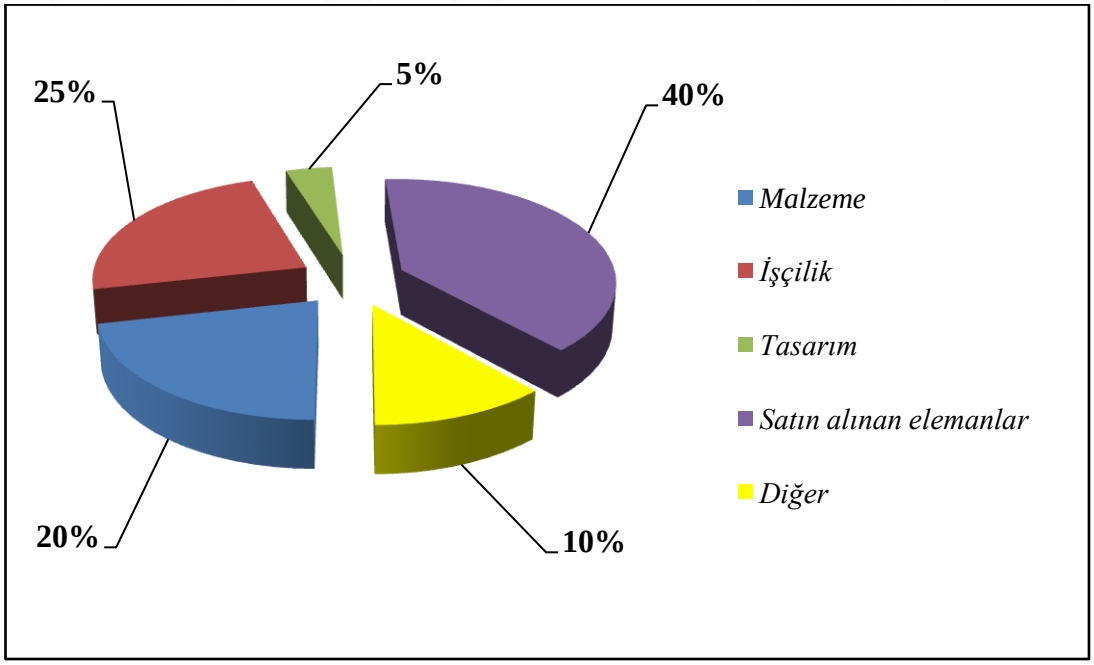
Şekil 8.32. Çizilme test cihazı modellemesinin demonte edilmiş görüntüsü

Tablo 8.3. Test cihazını oluşturan elemanların malzeme cinsi ve adetleriyle birlikte listesi

Eleman numarası	Eleman adı	Malzeme cinsi	Adet
1	Taban bloğu	Döküm polyamidi (Kestamit)	1
2	Vidalı mil	Paslanmaz çelik	1
3	Kare çelik profil	Çelik alaşım	2
4	Dikey lama	Alüminyum alaşım	2
5	Mil altı destek profili	Alüminyum alaşım	2
6	Lineer rulman	Alüminyum alaşım	4
7	Vidalı mil flanşlı somun	Çelik alaşım	1
8	Gezici tabla	Alüminyum alaşım	1
9	Mil ucu destek elemanı	Alüminyum alaşım	2
10	Endüktif sensör	Çelik alaşım	2
11	Sensör tutucu aparat	Çelik alaşım	2
12	Yük bloğu	Çelik döküm	-
13	Çizici uç	Çelik alaşım	1
14	Çizici uç tutucu	Alüminyum alaşım	1
15	Yatay lama	Alüminyum alaşım	1
16	Numune	-	-
17	Numune tutucu blok	Alüminyum alaşım	1
18	Vidalı mil yatağı	Çelik alaşım	2
19	Elastik kaplin	Alüminyum alaşım	1
20	Step motor flanşı	Çelik alaşım	1
21	Güç kaynağı	-	2
22	PLC	-	1
23	Step motor sürücüsü	-	1
24	HMI dokunmatik panel	-	1
25	Step motor	-	1
26	Yükseltme ayağı	Çelik alaşım	4

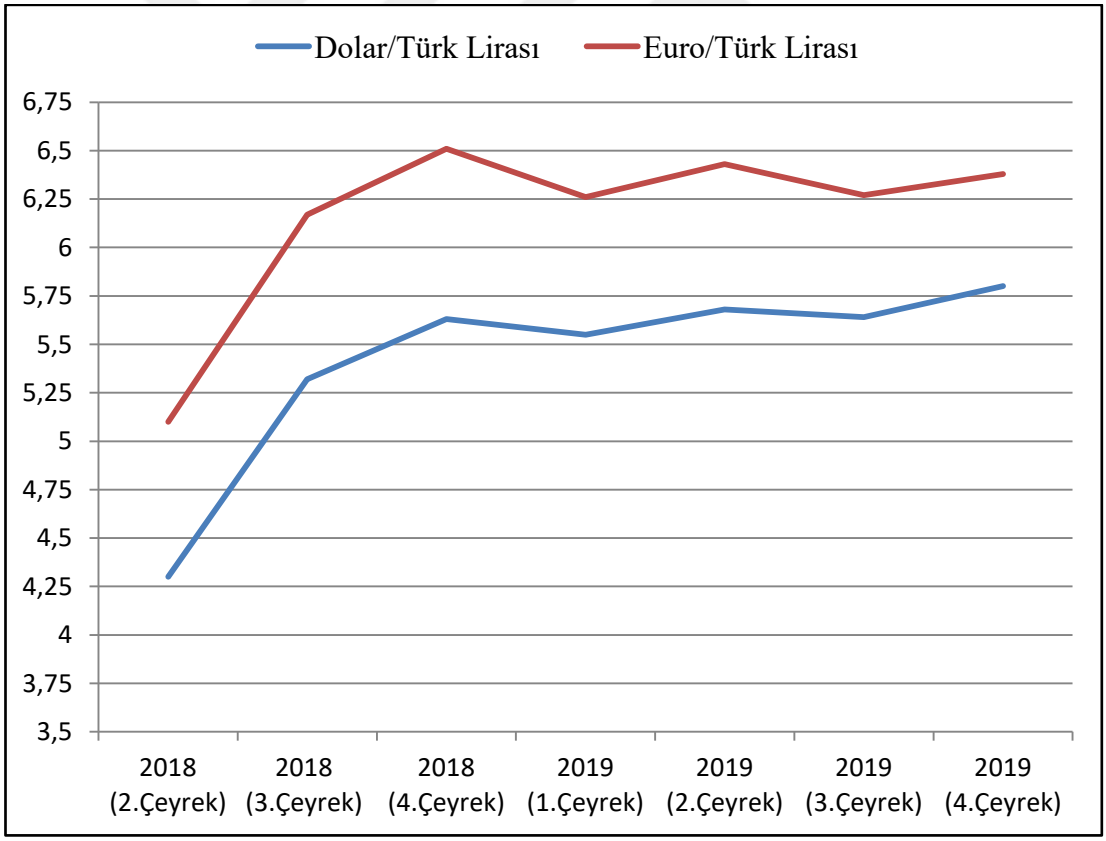
8.3. Tasarlanan Cihazın Maliyet Yönünden Değerlendirilmesi

Test cihazı tasarımında öngörülen maliyet kalemleri Şekil 8.33 ile verilmiştir. Satın alınan elemanlar; vidalı mil modülü, step motor, step motor sürücüsü, PLC, HMI dokunmatik panel, güç kaynağı ve sensörlerden oluşup maliyet kalemleri içerisindeki en yüksek dilimi oluşturmaktadır. Bunun nedeni bu elemanların fiyatlarının döviz kuruna endeksli olmasıdır. Maliyet diliminde ikinci büyük grubu oluşturan işçilik masrafları, ham maddeye istenilen şekli vermede harcanan giderleri temsil etmektedir. Bu maliyet diliminin yüksek olmasının nedeni Makine Mühendisliği Bölümü Takım Tezgahları Laboratuvarı'nda üretilme imkanı olmayan parçalardan kaynaklanmıştır. Malzeme giderleri, ham madde olarak alınıp işlenen parçaları temsil etmektedir. Bunlar ise, yatay ve dikey lamalar, step motor flanşı, kestamit taban bloğu, çelik profiller, numune tutucu blok, sensör tutucu aparat gibi elemanlara ait malzemelerdir. Ulaşım, genel masraflar gibi giderlerin payı ise %10'dur. Tasarım %5 ile maliyet kalemleri içerisinde az bir paya sahiptir. Bunun nedeni, çalışmanın tasarım odaklı olması ve modellemenin SOLIDWORKS® yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesidir.



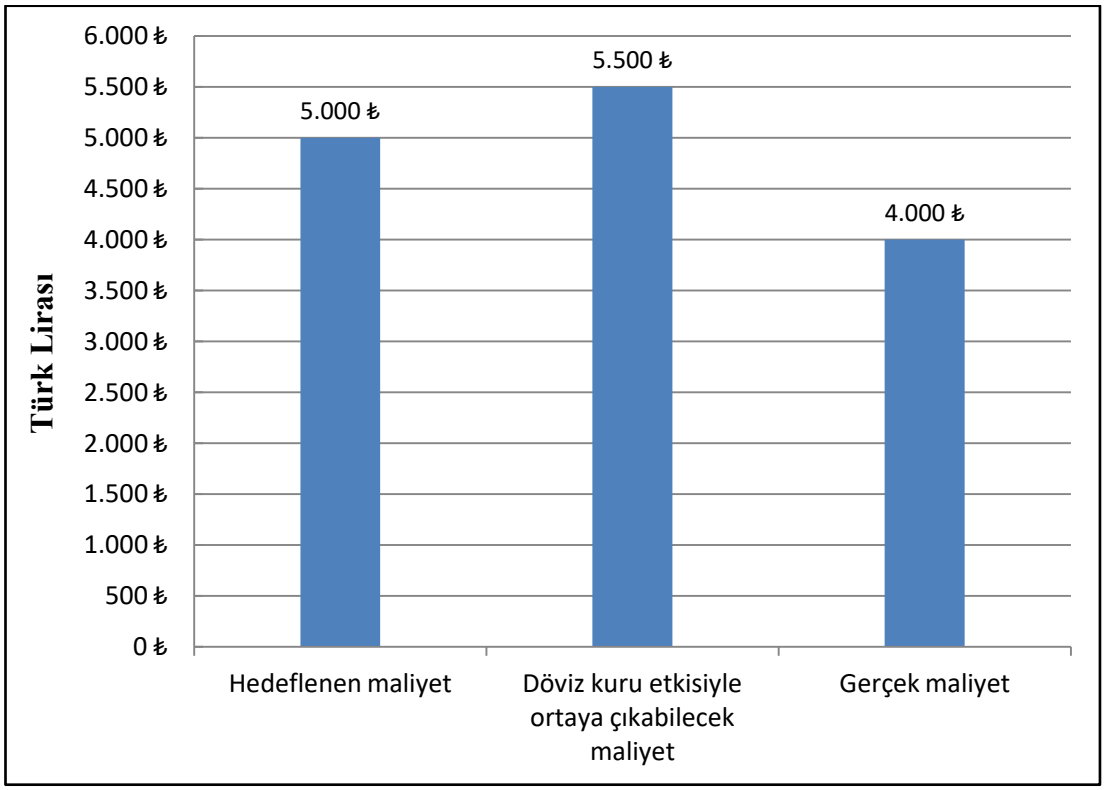
Şekil 8.33. Tasarımı yapılan test cihazının maliyet dilimleri

Şekil 8.34 ile döviz kurunun, 2018 yılının ikinci çeyreği ve 2019 yılının son çeyreği arasındaki değişimi verilmektedir. Bu zaman dilimi, test cihazının tasarım ve üretiminin yapılmış olduğu süreci kapsamaktadır. Test cihazının maliyet dilimleri grafiğinde (Şekil 8.33), %40'lık pay ile en çok yeri tutan kalemin "satın alınan elemanlar" olduğu görülmektedir. Bu elemanların, döviz kuruna bağlı olarak fiyatları sürekli değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, yılın aynı çeyreği içerisinde satın alınan bir ürünün fiyatı bir veya iki aylık süreç içinde kayda değer miktarda artış göstermektedir. Cihazın, elektronik aksamı konusunda alternatif ticari markaların ürün fiyatları devamlı olarak takip edilmiştir. Yine %20'lik dilimiyle malzeme maliyeti de döviz kurundan dolaylı olarak etkilenen dilimdir. Ancak malzeme seçme noktasında, elektronik aksama göre çok fazla seçenek olmadığı için ve dayanıklılık/toplam kütle gibi unsurlar daha önemli olduğu için maliyete direkt etki edecek bir dilim olmamıştır.



Şekil 8.34. Döviz kurunun tasarım ve imalat sürecindeki değişimi

Hedeflenen maliyet, döviz kuru etkisiyle oluşabilecek maliyet ve gerçek maliyetlerin Türk Lirası cinsinden karşılaştırılması Şekil 8.35'deki grafikte verilmiştir. Cihazın üretilmesi için hedeflenen maliyet 5000 TL olarak belirlenmiş olup, ülkemizde döviz kurunun dalgalı seyri nedeniyle bu oranın artabileceği de göz önünde bulundurularak grafikte bu değer 5500 TL olarak gösterilmiştir. Özellikle test cihazının elektronik aksamındaki elemanların dolar kuruna bağlı olarak temin edilecek olmasından dolayı, hedeflenen maliyetin üzerine çıkılmaması için birden fazla ticari ürünün fiyatları izlenerek maliyet açısından en uygun olanlar kullanılmıştır. Cihazda hazır olarak alınıp kullanılması gereken elemanların bir kısmı ilk tasarım aşamasında temin edilmiş olup, döviz kurundaki yükselmeden çok fazla etkilenmemiştir. Cihazın imalat ve montaj aşamalarının büyük bir çoğunluğu Makine Mühendisliği Bölümü Takım Tezgahları Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle imalat ve montajla ilgili harcamalar beklenilenden daha az miktarda gerçekleşmiştir. Bütün bunlar göz önüne alındığında cihazın gerçek maliyeti, hedeflenen maliyetin ve döviz kuru etkisiyle ortaya çıkabilecek maliyet değerinin altında kalarak 4000 TL civarında hesaplanmıştır. Bu durum test cihazının imalatında istenen maliyet hedefine ulaşıldığını göstermektedir.



Şekil 8.35. Test cihazının maliyet karşılaştırma grafiği

8.4. Test Cihazının Kullanım Kılavuzu

Test cihazında hız ayarı, tabla başlangıç noktası, aşındırma mesafesi gibi parametrelerin girildiği ekran Şekil 8.36 ile gösterilmektedir.



Şekil 8.36. HMI dokunmatik panel menüsü

Dokunmatik panel menüsünde hız ayarı, başlama noktası, aşındırma mesafesi, home pozisyonu, run ve stop olmak üzere dokunmatik butonlar bulunmaktadır. Hız %180 üzerinden değerlendirilmektedir. %180 hız değerine karşılık gelen step motor dönme hızı 300 dv/dk'dır. Bu oran doğrusal olarak artıp azalmaktadır. Örneğin step motorun 100 dv/dk hızda dönmesi isteniyorsa, dokunmatik panel üzerindeki hız parametresinin basit bir hesaplamayla %60 seçilmesi gerektiği görülmektedir. %1 hassasiyetle programlanan bu hız değeri istendiği takdirde %61'e çıkarılarak spesifik bir dönme hızı elde edilebilir. %61'lik bir hız oranı ile 101,6 dv/dk'lık bir dönme hızı elde edilebilmektedir. Eğer hız, doğrusal ilerleme miktarı olarak hesaplanmak isteniyorsa vidalı milin hatvesi önem kazanmaktadır. Vidalı milin hatve değeri 5 mm olduğu için step motor milinin bir tam tur dönmesiyle tabla 5 mm doğrusal ilerleme hareketi yapmaktadır.

Örneğin, 20 mm/sn tabla ilerleme hızı istendiği takdirde aşağıdaki hesaplama işlemi takip edilerek, dokunmatik ekran üzerinde yer alan hız parametresinin tam değeri Eşitlik (8.1) ile saptanabilir;

İstenilen tabla hızı 20 mm/sn ise,

$$\text{Step motor devir sayısı} = \left(\frac{20\ \text{mm}}{\text{sn}}\right)\left(\frac{1\ \text{devir}}{5\ \text{mm}}\right)\left(\frac{60\ \text{sn}}{1\ \text{dk}}\right) \quad (8.1)$$

= 240 dv/dk

Dokunmatik ekran üzerinde 240 dv/dk'ya karşılık gelen hız değeri hesaplanır;

%180 hız değeri 300 dv/dk ise, 240 dv/dk için hız değeri Eşitlik (8.2) ile;

$$300.x = 240.180 \quad (8.2)$$

= %144 olarak bulunur.

Bu hesaplama ile, 20 mm/sn'lik tabla ilerleme hızı istendiği takdirde, HMI dokunmatik panel menüsünde bulunan hız parametresinin %144 olarak girilmesi gerekmektedir.

Dokunmatik panel menüsünde bulunan başlama noktası, tablanın sol sensöre (home sensör) 4 mm mesafede durduğu noktadan itibaren ne kadar ilerleyeceğini belirtmektedir. Bu opsiyon sayesinde tabla için istenen pozisyon, mm cinsinden girilen miktar ile belirlenebilir. Vidalı milin toplam boyu 430 mm'dir. Fakat tablanın boyutları 130 mm x 130 mm olduğu için strok mesafesi 300 mm'dir. Uç kısımlara yerleştirilen sensörler ile bu mesafe 275 mm'ye kadar düşmektedir. Yani tablanın başlangıç noktasından itibaren hareket edebileceği mesafe 275 mm'dir. Eğer başlama noktası değeri için 275 mm'nin üzerinde bir değer girilirse, tablanın sağ sensör tarafından durdurulup, ters yöne gitmesi ve home pozisyonuna dönmesi sağlanacaktır. Bir diğer ifadeyle, tablanın mil ucu destek elemanına çarpması engellenecek ve hareket mesafesi içinde çalışması sağlanacaktır. Aşındırma mesafesi değeri için strok mesafesini aşacak bir değer girilirse tabla sağ sensör tarafından durdurulacaktır.

Dokunmatik panel üzerinde bulunan "HOME" butonu, tablanın istenilen başlama noktasına getirilmesi için teste başlamadan önce yapılması gereken konum ayarlarından bir tanesidir. Home butonuna basıldığında tabla sol sensöre doğru belirli bir hızda yaklaşır. Tabla üzerinde bulunan M6 cıvata başı ile sensör arasındaki mesafe 4 mm'ye düştüğünde tabla durur ve saniyenin üçte biri oranında bir zamanda harekete geçerek istenilen başlama noktasına doğru ilerler.

8.4.1. Çizilme testi için uygulanması gereken ayarlar

1. Cihazın çalışması için 220 V AC şebeke gerilim bağlantısı yapılır.
2. Dokunmatik ekran üzerinden hız değeri girilir.
3. Dokunmatik ekran üzerinden tablanın başlama noktası değeri girilir ve "HOME" butonuna basıldığında tabla başlangıç pozisyonunu alır.
4. Dokunmatik ekran üzerinden çizilme uzunluğu değeri girilir ve çizilme testini başlatmak için "RUN" butonuna basılır.
5. Çizilme mesafesi sona erdiğinde tabla anlık bir duruş yapmaktadır. Bu anda "STOP" butonuna basılarak test sona erdirilmelidir.

8.4.2. Aşınma testi için uygulanması gereken ayarlar

1. Cihazın çalışması için 220 V AC şebeke gerilim bağlantısı yapılır.
2. Dokunmatik ekran üzerinden hız değeri girilir.
3. Dokunmatik ekran üzerinden tablanın başlama noktası değeri girilir ve "HOME" butonuna basıldığında tabla başlangıç pozisyonunu alır.
4. Dokunmatik ekran üzerinden aşındırma mesafesi değeri girilir ve aşınma testini başlatmak için "RUN" butonuna basılır.
5. Aşınma testi "STOP" butonuna basılarak sonlandırılana kadar tabla, git-gel (reciprocating motion) hareketini devam ettirir.

8.4.3. Hız dönüşümleri

HMI dokunmatik panel menüsünde bulunan hız ayarı %1 ile %180 arasında değişmektedir. %180'lik hız, maksimum hız değeri olup, step motor için 300 dv/dk dönme hızına ve tabla için 25 mm/sn doğrusal ilerleme hızına karşılık gelmektedir.

Hız dönüşüm değerleri, 15 dv/dk'lık artışlarla interpolasyon yöntemiyle elde edilmiş olup Tablo 8.4 ile verilmiştir. Tablodaki değerler cihazın maksimum ve minimum çalışma hız değerleri esas alınarak belirlenmiştir. Dokunmatik paneldeki hız değerlerinin tam sayı olarak girilmesi gerektiğinden, doğrusal ilerleme hızları ondalıklı sayı olarak çıkabilmektedir.

Tablo 8.4. Hız dönüşüm değerleri

Step motor dönme hızı (dv/dk)	**Dokunmatik panel için hız değeri (%)**	**Doğrusal ilerleme hızı (mm/sn)**
300	180	25
285	171	23,75
270	162	22,5
255	153	21,25
240	144	20
225	135	18,75
210	126	17,5
195	117	16,25
180	108	15
165	99	13,75
150	90	12,5
135	81	11,25
120	72	10
105	63	8,75
90	54	7,5
75	45	6,25
60	36	5
45	27	3,75
30	18	2,5
15	9	1,25
1,75	1	0,1428

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, polimerik malzemelerin çizilme dirençlerini saptayabilmek ve aşınma testini gerçekleştirebilmek amacıyla bir test cihazı geliştirilmiştir. Tasarımı özgün olarak geliştirilen test cihazı toplamda 4000 TL'ye mal olmuş olup, 21 kg kütleye sahiptir. Şekillendirme tasarımı aşamasındaki malzeme seçim kriterleri sayesinde toplam kütlenin düşük olması, bu test cihazını portatif bir test cihazı kılan en önemli unsurdur.

300 dv/dk dönme hızına ulaşabilen step motor ile saniyede 25 mm tabla ilerleme hızı elde edilebilmektedir. Bu hız, ileri bir çalışma olarak, vidalı mil hatvesinin 10 mm'ye çıkarılması ile iki katına (50 mm/sn) yükseltilebilecektir. Bununla birlikte, maliyeti yüksek olan fakat daha yüksek verim elde edilebilecek bir step motor sürücüsü ile de ilerleme hızında artış sağlanabilecektir. Dokunmatik ekran üzerinden yapılabilen kademesiz hız ayarı sayesinde 1'er dv/dk artış hassasiyetiyle 300 dv/dk hıza ulaşmak mümkündür.

Polimerik malzemelerin sıcaklık ile birlikte yapılarında değişiklik görüldüğü ve dolayısıyla bu durumun dayanımlarını da etkilediği bir gerçektir. Test cihazının, polimerlerin sıcaklığın bağımsız bir değişken olduğu çizilme veya aşınma testlerini gerçekleştirmek, farklı sıcaklıklardaki çizilme davranışları hakkında bir fikir sağlayabilecektir. Bu yüzden, ileri bir çalışma olarak test cihazına eklenecek sıcaklık modülü ile birlikte bunun gerçekleşmesi de sağlanabilecektir.

İlave olarak çizici aparata yerleştirilecek piezoelektrik yük hücresi ile çizilme sürtünme katsayısını (SCOF) belirlemek mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

[1] Wong M., Lim G. T., Moyse A., A New Test Methodology for Evaluating Scratch Resistance of Polymers, *Wear*, DOI:10.1016/j.wear.2003.10.027.

[2] Cheng Q., Jiang C., Zhang J., Effect of Thermal Aging on the Scratch Behavior of Polymethylmethacrylate, *Tribology International*, DOI:10.1016/j.triboint.2016.04.013.

[3] Wredenberg F., Larsson P-L., Scratch Testing of Metals and Polymers: Experiments and Numerics, *Wear*, DOI:10.1016/j.wear.2008.05.014.

[4] Sinha S. K., Lim Desmon B. J., Effects of Normal Load on Single-Pass Scratching of Polymer Surfaces, *Wear*, DOI:10.1016/j.wear.2005.04.018.

[5] Jiang H., Browning R., Sue H-J., Understanding of Scratch-Induced Damage Mechanisms in Polymers, *Polymer*, DOI:10.1016/j.polymer.2009.06.061.

[6] Briscoe B. J., Evans P. D., Pelillo E., Sinha S. K., Scratching Maps for Polymers, *Wear*, 1996, **200**(1-2), 137-147.

[7] Kovalchenko A. M., Saurav G., Zakiev I. M., Suppressing Scratch-Induced Brittle Fracture in Silicon by Geometric Design Modification of the Abrasive Grits, *Journal of Materials Research and Technology*, DOI:10.1016/j.jmrt.2018.05.016.

[8] Friedrich K., Sue H-J., Liu P., Scratch Resistance of High Performance Polymers, *Tribology International*, DOI:10.1016/j.triboint.2011.04.008.

[9] Rajesh J. J., Bijwe Jayashree, Investigations on Scratch Behaviour of Various Polyamides, *Wear*, DOI:10.1016/j.wear.2004.12.018.

[10] Kurkcu P., Andena L., Pavan A., An Experimental Investigation of the Scratch Behaviour of Polymers:1.Influence of Rate-Dependent Bulk Mechanical Properties, *Wear*, DOI:10.1016/j.wear.2012.05.005.

[11] Wong M. H., The Development of Scratch Test Methodology and Characterization of Surface Damage of Polypropylene, Yüksek Lisans Tezi, Texas A&M University, Office of Graduate Studies, College Station, 2003.

[12] Briscoe B. J., Sinha S. K., Scratch Resistance and Localised Damage Characteristics of Polymer Surfaces-A Review, *Materials Science&Engineering Technology*, DOI:10.1002/mawe.200300687.

[13] https://www.wikizero.com/tr/Mohs_sertlik_skalas%C4%B1, (Ziyaret tarihi: 8 Aralık 2019).

[14] Jasline Varadi D. D., Scratch Behavior of Polystyrene, Yüksek Lisans Tezi, The University of Akron, The Graduate Faculty, Akron, 2009.

[15] Moghbelli E., Insights in Fundamental Scratch Behavior of Polymeric Materials, Yüksek Lisans Tezi, Texas A&M University, Office of Graduate Studies, College Station, 2007.

[16] Jiang H., Experimental and Numerical Study of Polymer Scratch Behavior, Doktora Tezi, Texas A&M University, Office of Graduate Studies, College Station, 2009.

[17] Lim T. G., Scratch Behavior of Polymers, Doktora Tezi, Texas A&M University, Office of Graduate Studies, College Station, 2005.

[18] Williams J. A., Analytical Models of Scratch Hardness, *Tribology International*, 1996, **29**(8), 675-694.

[19] Hossain M. M., Jiang H., Sue H-J., Effect of Constitutive Behavior on Scratch Visibility Resistance of Polymers-A Finite Element Method Parametric Study, *Wear*, DOI:10.1016/j.wear.2011.01.022.

[20] Jiang H., Browning R. L., Hossain M. M., Quantitative Evaluation of Scratch Visibility Resistance of Polymers, *Applied Surface Science*, DOI:10.1016/j.apsusc.2010.04.011.

[21] Çakmak U. D., Development of A Comparative Test Methodology to Characterize Scratch and Stickiness of PP-Compounds, Yüksek Lisans Tezi, Montan Leoben University, Polymer Engineering and Science, Leoben, 2010.

[22] Callister W. D., Rethwisch D. G., *Materials Science and Engineering*, 8th ed., Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2013.

[23] Saçak M., *Polimer Teknolojisi*, 1st ed., Gazi Kitabevi, Ankara, 2005.

[24] http://pediaa.com/difference-between-natural-and-synthetic-polymers/, (Ziyaret tarihi: 23 Kasım 2019).

[25] https://semesters.in/what-are-polymers-and-classification-of-polymers-notes-pdf-ppt/, (Ziyaret tarihi: 23 Kasım 2019).

[26] Akkurt S., *Plastik Malzeme Bilgisi*, 1st ed., Birsen Yayınevi, İstanbul, 1991.

[27] Parlar Z., Soybora E. K., Burhan M. S., Sistematik Konstrüksiyon ve Tasarım Odaklı Düşünme Yaklaşımı ile Yaratıcı Kavramsal Tasarım Süreci: Küçük Ev Aleti Tasarımı, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, DOI:10.16984/saufenbilder.307260.

[28] Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K. H., *Mühendislik Tasarımı: Sistematik Yaklaşım*, 1st ed., Hatiboğlu Yayınları, Ankara, 2010.

[29] Mayda M., Web Tabanlı Kavramsal Tasarım, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 212811.

[30] Mayda M., Börklü H. R., Yeni Bir Kavramsal Tasarım İşlem Modeli, *Türk Bilim Araştırma Vakfı Bilim Dergisi*, 2008, **1**(1), 13-25.

[31] Ullman D. G., *The Mechanical Design Process*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 2010.

[32] Mayda M., Börklü H. R., Web Tabanlı Makina Kavramsal Tasarımı, *Politeknik Dergisi*, 2008, **11**(4), 353-363.

[33] Kurbanoğlu C., *Makina Bilgisi*, 3rd ed., Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2013.

[34] Babalık F. C., Çavdar K., *Makine Bilimi ve Elemanları*, 4th ed., Dora Yayıncılık, Bursa, 2012.

[35] https://iare.ac.in/sites/default/files/lecture_notes/CAD_CAM_LECTURE %20NOTES.pdf, (Ziyaret tarihi: 27 Aralık 2019).

[36] Wredenberg F., Larsson P. L., Experimental and Numerical Analysis of the Scratch Test, *Computer Methods and Experimental Measurements for Surface Effects and Contact Mechanics VII*, DOI:10.2495/SECM050251.

[37] https://www.taberindustries.com/multi-finger-scratch-mar-tester, (Ziyaret tarihi: 28 Aralık 2019).

[38] Erdöl M., Bilyalı Vidalı Mil Hareket Sisteminin Matematiksel Modellenmesi ve Titreşim Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 351970.

[39] https://www.medicaldesignandoutsourcing.com/what-are-ball-screws/, (Ziyaret tarihi: 31 Aralık 2019).

[40] http://mimarlik.maltepe.edu.tr/files/u11/AKSLAR,%20M%C4%B0LLER %20VE%20YATAKLAR.pdf, (Ziyaret tarihi: 25 Kasım 2019).

[41] https://maker.robotistan.com/step-motor-nedir/, (Ziyaret tarihi: 25 Kasım 2019).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Özkan F.**, Yetiştiren H., Polimerik Malzemeler için Çizilme Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı, *3. Uluslararası Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu*, Düzce Üniversitesi, Düzce, 5-7 Eylül 2019.

ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında Kocaeli'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli'de tamamladı. 2012 yılında girdiği Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden 2016 yılında bölüm birinciliği ve fakülte üçüncülüğü ile mezun oldu. Mezun olduktan sonra 7 ay boyunca Tekmer'de Arge Elemanı olarak çalıştı. 2017 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.