



**STENT İMALATINA YÖNELİK LAZER TORNA TEZGAHI TASARIMI
VE ÜRETİMİ**

Osman Tuna GÖKGÖZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

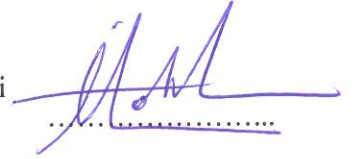
MAYIS 2019

Osman Tuna GÖKGÖZ tarafından hazırlanan “STENT İMALATINA YÖNELİK LAZER TORNA TEZGAHI TASARIMI VE ÜRETİMİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

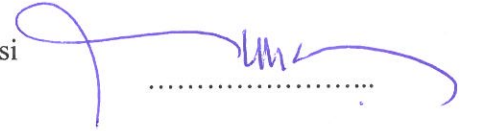
Danışman: Doç. Dr. Hüseyin Kürşad SEZER
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Başkan: Doç. Dr. İhsan TOKTAŞ
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Doç. Dr. İsmail ŞAHİN
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 29/05/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



Osman Tuna GÖKGÖZ

29/5/2019

STENT İMALATINA YÖNELİK LAZER TORNA TEZGAHI TASARIMI VE ÜRETİMİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Osman Tuna GÖKGÖZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2019

ÖZET

Günümüzde insan ölümlerin en yaygın sebeplerinden biri damarlarla ilgili hastalıklardır. Bu çalışmada, damar tıkanıklığı tedavisinde kullanılan stentlerin imalatını gerçekleştirebilecek bir mini torna tezgahı prototipi tasarlanmış ve üretilmiştir. Tasarım ve imalat süreçlerinde düşük maliyetli Ar-Ge yaklaşımı benimsenmiştir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin daha üst seviyedeki ülkelerin teknik düzeylerine erişebilmeleri için Ar-Ge çalışmalarını gelişmiş ülkelerin yaptığı şeklin dışında, kısıtlı imkanları en iyi şekilde kullanarak, daha düşük maliyetlerle gerçekleştirmeleri zorunludur. Bu amaca yönelik olarak açık kaynak kodlu mikro denetleyici kart (Arduino Uno) ile kontrol edilen bir mekatronik sistem tasarlanıp imal edilmiştir. Düşük maliyetli Ar-Ge yaklaşımı; akademik çalışmaların oluşturduğu birikimi sanayiye aktararak deneme-yanılma maliyetinin en aza indirilmesini, o alandaki en güncel yayınlardan yararlanarak küresel trendlerin takip edilmesini, sanayi pratikliğinin akademik sorunların aşılmasında hızlı bir çözüm yöntemi olarak kullanılmasını içerir. Bu tez günümüzde gitgide daha çok önem kazanan “maker”lık ve “DIY Do It Yourself / Kendin Yap” hareketinin küresel endüstriyi geri döndürülemez bir biçimde dönüştüreceğini görerek konum almanın da bir örneğini sunmaktadır.

Bilim Kodu : 91423
Anahtar Kelimeler : Mekatronik, mikro işleme, kavramsal tasarım, şekillendirme tasarımı, stent, lazer
Sayfa Adedi : 73
Danışman : Doç. Dr. Hüseyin Kürşad SEZER

THE DESIGN AND MANUFACTURING OF LASER ASSISTED LATHE FOR STENT
MANUFACTURING

(M. Sc. Thesis)

Osman Tuna GÖKGÖZ

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
May 2019

ABSTRACT

One of the most common causes of human death is vascular diseases. In this study, the prototype mini-lathe, to produce stent which is used for artery blockage treatment, is designed and manufactured. During the design and manufacturing processes, low-cost R&D approach is preferred. Developing countries, as Turkey, shall adopt more efficient way of R&D to attain the level of developed countries. Developing countries shall use their own limited capabilities and sources in a cost-effective way. The mechatronic system controlled by an open-source micro processor (Arduino Uno) is designed and manufactured. Cost-effective R&D approach contains; transferring academical knowledge to industry, minimizing trial and error cost, following global trends in that research field by following up-to-date publications, and using industrial practicability as a quick problem solver to overcome the academical problems. This thesis presents a sample of positioning by noticing irreversible transformation of global industry by “maker” and “DIY / Do It Yourself” culture getting more and more important.

Science Code : 91423

Key Words : Mechatronics, micromachining, conceptual design, embodiment design, stent, laser

Page Number : 73

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Hüseyin Kürşad SEZER

TEŞEKKÜR

Tanıştığımız günden beri akademik birikiminden her zaman yararlandığım, bir tez danışmanından öte bir ağabey olarak gördüğüm, lazer konusundaki çalışmalarına hayranlığımı hiç gizlemediğim, değerli tez hocam ve danışmanın Hüseyin Kürşad Sezer’e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Desteği ve sabrı olmasaydı bu tezin tamamlanması mümkün olmazdı.

Yüksek lisans yapmam konusundaki teşviklerini unutmayacağım hocam Hüseyin Rıza BÖRKLÜ’ye, tez konusunun seçilmesinde çok önemli bir yeri olan hocam Faruk MERT’e, lisans eğitimim sırasında CNC dersi aldığım ve hassas tezgah kontrolü konusundaki uzmanlığı ile bana ilham veren hocam Melik DÖLEN’e, elektronik konusunda ders aldığım hocam Mahir DURSUN’a, yüksek lisans çalışmalarına katılmamda bana kolaylık sağlayan Arıman Makina genel müdürü Yunus KİBAR’a, prototip imalatında sac metal bükümü konusunda destek veren Epamak Metal genel müdürü Ertan ALGÜL’e, malzeme tedariki konusunda çok faydalandığım AliExpress firmalarına çok teşekkür ediyorum. CMM ölçümlerini Yepsan tesislerinde gerçekleştirmemi sağlayan Yepsan Savunma ve Havacılık genel müdürü Abdullah POLAT’a ve ölçümleri yapan meslektaşım Cihan TÜRK’e de çok teşekkür ediyorum.

Desteklerini ve dualarını hep yanımda hissettiğim; annem Yıldız GÖKGÖZ’e, babam Recep Necat GÖKGÖZ’e ve ağabeyim Mert Cemal GÖKGÖZ’e en özel teşekkürlerimi sunuyorum. Son olarak tez yazım sürecinde desteğini hiç esirgemeyen eşim Firuze GÖKGÖZ’e ve bu süreçte dünyaya gelen kızım Nil’e de onlardan çaldığım zamanların bitmesini sabırla bekledikleri için şükranlarımı sunuyorum.

Umarım ki bu çalışma, daha adil, daha paylaşımcı, daha gelişmiş ve daha teknik bir dünya için bilim deryasında bir damla olur.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GÜNCEL DURUM	5
2.1. Stent İşleme Sistemleri.....	5
2.2. Literatür Taraması	6
3. STENT İŞLEME TEKNOLOJİSİ.....	11
3.1. Mikro İşleme	11
3.2. Stent İşleme Makinaları	16
3.3. Stentler	18
3.3.1. Palmaz-Schatz tipi stentler	21
3.3.2. Diğer stent örnekleri.....	22
3.4. Lazer.....	23
3.4.1. Atım sıklığı	25
3.4.2. Maksimum güç.....	25
3.4.3. Işın kalitesi	25
4. KAVRAMSAL TASARIM	31

	Sayfa
4.1. Stent Tasarım ve İmalat Prosesi	31
4.2. Sistemin Kavramsal Tasarımı	33
4.2.1. İhtiyacın belirlenmesi.....	33
4.2.2. Mali analizin yapılması	34
4.2.3. Kavramsal tasarımın yapılması	34
5. ŞEKİLLENDİRME TASARIMI.....	37
5.1. Detay Tasarım	37
5.2. Düşük Maliyetli Ar-Ge Yaklaşımı ve Mali Analiz	37
5.3. Bütüncül Tasarım ve İmalat	39
5.4. Sistemin Çalışması	40
5.5. Temel Mekanik Yapı.....	41
5.5.1. Paslanmaz boru	42
5.5.2. Tutucu	43
5.5.3. Doğrusal kızak	44
5.5.4. Doğrusal harekete dönüştürücü.....	45
5.5.5. Sac metal yapı	46
5.6. Elektronik Kontrol ve Yazılım.....	46
5.6.1. Kontrolcü	46
5.6.2. Tahrik elemanı	48
5.6.3. Arduino	49
6. SİSTEMİN İMALATI.....	51
6.1. Deneme Çalışmaları	52
6.2. İmalat.....	53
7. ÖLÇÜMLER.....	57

	Sayfa
7.1. Tezgahın Yapısal Ölçümleri	58
7.2. Tekrar Edilebilirlik Ölçümleri.....	58
8. SONUÇ	61
KAYNAKLAR	63
EKLER.....	67
EK-1. Tezgahta kullanılan Arduino kodu	68
ÖZGEÇMİŞ	73

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Farklı stent kesme sistemlerinin karşılaştırılması.....	16
Çizelge 3.2. Koroner stentin çalışma şartları	20
Çizelge 3.3. Örnek ticari stent tasarımları.....	23
Çizelge 3.4. Lazer ışığının özellikleri	26
Çizelge 4.1. Kavramsal tasarım esnasında tasarım değerlendirme ana başlıkları ile kontrol listesi.....	35
Çizelge 4.2. Kavramsal tasarımda örnek karar verme süreci.....	36
Çizelge 4.3. Kavramsal tasarımda karar verme sürecindeki seçenekler	36
Çizelge 5.1. Malzeme/ekipman maliyet tablosu	39

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Lazer destekli stent işleme sistemi	5
Şekil 2.2. Stent literatürünün kapsamı	6
Şekil 3.1. Stent yardımıyla daralan damarın açılması.....	17
Şekil 3.2. Stentlerin tarihsel gelişimi	20
Şekil 3.3. Palmaz-Schatz tipi stent.....	22
Şekil 3.4. Işığın grafiği.....	24
Şekil 3.5. Lazer ışınının parça üzerinde odaklanması.....	27
Şekil 3.6. Uzun atımlı ve kısa atımlı lazerlerin kesim sırasında malzemeye etkisi	28
Şekil 4.1. Stent tasarımının bileşenleri	32
Şekil 5.1. Sistemin ana mekanik bileşenleri	41
Şekil 6.1. Sistemin bağlantı şeması.....	56

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Mikro işlemeyle imal edilen medikal malzemeler.....	11
Resim 3.2. Çeşitli mikro işleme sistemleri.....	12
Resim 3.3. Mikroişleme ürünlerinden örnekler	14
Resim 3.4. Mikroişleme ile üretilen stentler ve medikal ekipmanlar	15
Resim 3.5. Stent Kesme Tezgahları; a)Narola Stent Beat, b)Rofin StarCut Tube, c) Aerotech Vasculathe	17
Resim 3.6. Stentin balon yardımıyla genişletilmesi.....	18
Resim 3.7. Fiber lazer ve CO ₂ lazerinin malzemeye etkisi.....	28
Resim 4.1. Stent üretiminde aşamalar.....	31
Resim 5.1. Paslanmaz stent hammaddesi / 1 TL ile karşılaştırılması	42
Resim 5.2. Paslanmaz boruyu tutan matkap aynası	44
Resim 5.3. Doğrusal kızak ve araba.....	44
Resim 5.4. Yaylı mil somunu.....	45
Resim 5.5. İki farklı açıdan sac metal yapı	46
Resim 5.6. Sistemde kullanılan Arduino kart, motorlar için sürücü ve soğutucu.....	47
Resim 5.7. Step motorun genel yapısı ve sistemde kullanılan step motor.....	49
Resim 5.8. Arduino kart ve step motorlar için sürücü kalkan (shield).....	49
Resim 6.1. Mock-up çalışmasında kullanılan malzemeler.....	52
Resim 6.2. Mock-up çalışması sonucu ortaya çıkan çalışır durumdaki prototip	52
Resim 6.3. Çeşitli açılardan üretilen sistemin görüntüleri	54
Resim 6.4. Sistemin CAD ortamında çizilmiş modeli	55
Resim 7.1. Ölçümlerin yapıldığı CMM cihazı.....	57
Resim 7.2. a) Stent üzerine probe dokunuşu b) Kızak üzerine probe dokunuşu	58

Resim**Sayfa**

Resim 7.3. a) Hareket öncesinde probe dokunuşu b) CMM’de düzeneğin çalıştırılması. 59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
λ	Dalgaboyu
μm	Mikrometre
π	Pi sayısı
₺	Türk Lirası
d	Odaklanmış ışın çapı
D	Odaklanmamış ışın çapı
f	Odak mesafesi
fs	Femtosaniye
hz	Hertz
M^2	Işın kalitesi
mm	Milimetre
ps	Pikosaniye
Ra	Ortalama yüzey pürüzlüğü
W	Watt

Kısaltmalar	Açıklamalar
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAD	Computer Aided Design
CMM	Coordinate Measurement Machine
CNC	Computer Numerical Control
EN	European Norm
FDA	Food and Drug Administration
ISO	International Organization for Standardization
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
Nd-YAG	Neodymium Ytrium Aluminium Garnet

Kısaltmalar**Açıklamalar****OECD**

Organisation for Economic Cooperation Development

TSE

Türk Standardları Enstitüsü

TÜBİTAK

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

1. GİRİŞ

En yeni teknolojilerin ilk uygulama alanları bu teknolojilerin doğrudan çözüm ürettiği alanlarda gerçekleşmektedir. Kullanım alanı bulabilmesi için bu çözümlerin uygulanmasının ekonomik açıdan da uygun olması beklenir. Bu yeni teknolojilerin fiyat yüksekliğine rağmen piyasada kabul görmesinin en önemli şartı, yeni teknolojinin ürettiği çözüme gerçekten ihtiyaç duyulmasıdır. Medikal sektörü, çok çeşitli çözüm gereksinimlerini ortaya çıkardığı için yeni teknolojik gelişmeleri tetikleyen ve bu gelişmelerin ürünlerini bir an önce piyasaya sürmeye çalışan sektörlerin başında gelmektedir.

Mühendislik en yalın haliyle çözüm üretme faaliyetidir. Mühendisler tıp alanında ihtiyaç duyulan teknolojileri geliştiren ekibin önemli bir parçasıdır. Hekimler mevcut ürünlerle çözemedikleri sorunları tanımlayarak, bilim insanlarının ve mühendislerin konu üzerinde çalışmaları için ilk adımı atmış olurlar. Bu süreç insan vücudunda bulunan damarların tıkanma sorununun çözümü için de aynı şekilde işlemiştir. Daha öncesinde dış çapı 1.80 mm, iç çapı 1.50 mm olan paslanmaz borunun üzerinde istenilen formu elde edecek şekilde hassas kesim yapılmasını gerektiren bir ihtiyaç olmamasına rağmen hekimler damar tıkanıklıklarını açmak için damarın içinden geçirilebilecek bu boyutlardaki bir boruyu tıkanıklığın olduğu bölgeye gönderebilecek yeni bir teknolojiye gereksinim duymuşlardı. Sorun bu borunun tıkanıklığın olduğu bölgeye gönderilmesiyle de çözüme kavuşmuyordu. Bu borunun tam ihtiyaç duyulan bölgede şişirilebilmesi, damara zarar vermemesi için çok fazla şişmemesi, damara yerleştirildikten sonra damarın tekrardan tıkanmaması için gerekli özelliklere sahip olması, vücut tarafından yabancı bir cisim olarak algılanmaması, vücutta bulunduğu süre boyunca korozyona uğramayacak şekilde malzeme seçimi yapılması veya öyle bir malzeme yoksa onun üretilmesi gerekiyordu. Tüm bu gereklilikler mevcut teknolojilerden yararlanarak ve yeni teknolojiler geliştirilerek sağlanmaya çalışılmıştır. Tam anlamıyla istenilen sonuç elde edilemediği için çalışmalar halen devam etmektedir. Kaynaklar kısıtlı, istekler sınırsız olduğu için üretilen çözümlerin ekonomik olması daha çok soruna çözüm üretebilme imkanı vermektedir.

Bu çalışmanın kapsamı, stent kesme tezgahının düşük maliyet esasına dayanılarak tasarımının yapılması ve üretilmesidir. Bu tez çalışmasında, lazerle kesme yöntemi kullanılarak imal edilen stentlerin üretimini sağlayabilecek özelliklere sahip, adım

motorlarla çalışan, Arduino tarafından kontrol edilen mini bir torna tezgahı tasarlanıp, imal edilmiştir. Lazer kaynağı tez çalışmasının dışında tutulmuştur. Her türlü lazer kaynağıyla uygun olarak çalışabilen bir torna tezgahının üretimi hedeflenmiştir. Bunlara ek olarak maliyetleri düşük tutmak adına açık kaynak kodlu Arduino seçilmiş olup toplam imalat maliyeti 420 ₺'ye kadar çekilebilmiştir. Böylelikle hiçbir resmi ya da özel kurum veya kuruluştan maddi destek alınmadan tez çalışmalarının tamamlanması mümkün olmuştur.

İkinci bölümde stentlerle ilgili genel bilgilere yer verilerek stent teknolojisindeki güncel durumun tesbiti yapılmıştır. Tüm tez boyunca faydalanan, konuya farklı açılardan yaklaşarak konunun her yönüyle kavranmasına yardımcı olan akademik ve teknik çalışmalar literatür başlığı altında sıralanmıştır. Bunlara ek olarak şu an kullanımda olan ticari stent işleme tezgahları da tanıtılmıştır. Mikro işleme konusu da bu bölümde ele alınmıştır.

Üçüncü bölüm boyunca stentlerle ilgili ayrıntılı bilgiler yer almaktadır. Üretilecek ürünün ne olduğu, nelere dikkat edilmesi gerektiği belirlenmeden tasarım ve imalat çalışmaları sağlıklı bir şekilde yapılamayacağı için stentler incelenmiştir. Lazer sayısız uygulama alanı olan bir teknoloji olarak stent imalatının da merkezinde yer almaktadır. Lazer kaynağı tez kapsamının dışında tutulmuş olsa da sistemin anlaşılması açısından lazerle ilgili bilgilere bu bölümde yer verilmiştir.

Sistemin bir fikirden şekillendirme aşamasına gelene kadar geçirdiği tüm süreçler dördüncü bölümde yer almaktadır. Kavramsal tasarım aşaması ve yapılan tercihlerin gerekçelendirilmesi bu bölümde incelenmiştir.

Sistem, mekanik yapıya ek olarak elektronik kontrol üniteleri, motorlar, bağlantılar ve kontrolü sağlayan yazılımı da içermektedir. Tüm bileşenlerin şekillendirme tasarımı beşinci bölümde incelenmiştir. İmalat için gerekli mekanik yapının tanıtımı da bu bölümün kapsamındadır.

Mock-up çalışmaları ve sistemin imalatı altıncı bölümde ele alınmıştır. Tez çalışma kapsamında tasarlanan tezgah bu bölümde somut bir çıktıya dönüşmüştür.

Sistemin ne kadar hassasiyette çalıştığını tespit edebilmek adına düzeneğin iyi bir stent üretebilmesi için ihtiyaç duyacağı eşmerkezlilik, paralellik vb. açılardan incelenmesine yedinci bölümde yer verilmiştir.

Sekizinci ve son bölümde ise yapılan tüm çalışmalar özetlenmiş ve gelecekteki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Konunun Tanımı

Günümüzde internetin de yaygınlaşmasıyla, bilgiye ulaşım kolaylaşmış, üretilen bilginin paylaşımı için harcanması gereken çaba en aza indirilmiştir. Bilgiye ulaşım için sadece internete bağlı olmanın yeterli olduğu düşünülürse artık bilim, teknik, mühendislik vb. konulardaki bilgiler herkesin kolaylıkla ulaşabileceği bir konumdur. Gitgide artan açık kaynak kodlu çalışmalar ve bu çalışmaları gerçekleştiren insanların önemli bir kısmının bu çalışmalarını tüm detaylarıyla internette paylaşmaları bilgi ve tecrübenin hiç olmadığı kadar ucuz ve ulaşılabilir olduğu bir dönemi de beraberinde getirmiştir. Bu dönemin getirdiği kolaylıkları kullanarak stent işleme sistemleriyle ilgili bir çalışma yapma fikri bu araştırmanın arka planını oluşturmaktadır. Medikal sektörü de, katma değer yüksek olduğu, yüksek teknoloji gerektiren bir sektör olarak çalışmanın gerçekleştirileceği alan olarak seçilmiştir.

Araştırmanın Amacı

Araştırmanın amacı; stent işleme sistemlerinin tüm bileşenleriyle anlaşılması ve bu derinlemesine anlayışla basitleştirilmiş bir sistemin tasarlanması ve imalatının gerçekleştirilmesidir. Araştırmanın hedefleri;

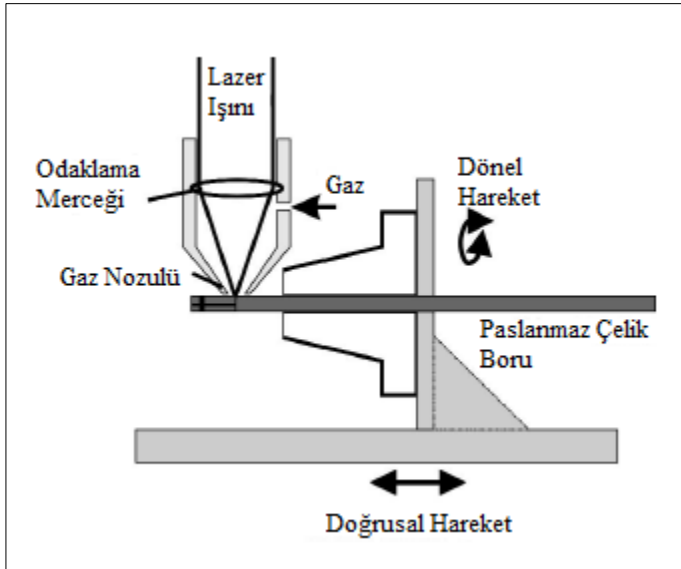
- Tezgah tasarım ve imalat esaslarının incelenmesi ve örnek bir uygulama olarak stent işleme tezgahlarının araştırılması
- Stentlerle ilgili hem mühendislik hem de tıbbi boyutuyla mevcut bilimsel çalışmalardan faydalanılarak inceleme yapılması
- Açık kaynak kodlu bileşenlerin seçilerek çalışmanın en düşük maliyetle gerçekleştirilmesi

- Mekanik tasarım ve imalat sırasında mümkün olduğunca standard malzemeler kullanılarak, maliyetlerin en düşük seviyede tutulması
- Akademik bilgi birikimi ve sanayi pratikliğinin birleştirilerek, bilim ve tekniğin imkanlarından faydalanan ancak gerçek sanayi şartlarından da uzaklaşmayan bir yaklaşımla prototip bir mini torna tezgahı üretilmesidir.

2. GÜNCEL DURUM

2.1. Stent İşleme Sistemleri

Stentler, daralan damarların genişletilerek bozulan kan akışının tekrardan sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesi için kullanılan medikal ekipmanlardır. Bu ürünlerin imalatı sırasında farklı yöntemler kullanılsa da günümüzde en çok tercih edilen yöntem; lazer aracılığıyla iki ucu açık bir boruya istenilen formda kesim yapılmasıdır. Stent işleme sistemleri; kesimi gerçekleştiren bir lazer kaynağından, lazer ışınını kesim yapılacak yere iletmeye yarayan optiklerden, borunun istenilen anda, istenilen konumda olmasını sağlayabilecek mekanik bir yapı ile tüm bunları kontrol eden bir kontrolcüdür oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında üretilen sistem, lazerle ilgili kısımlar dışındaki mekanik yapıdan ve kontrol sisteminden oluşmaktadır.



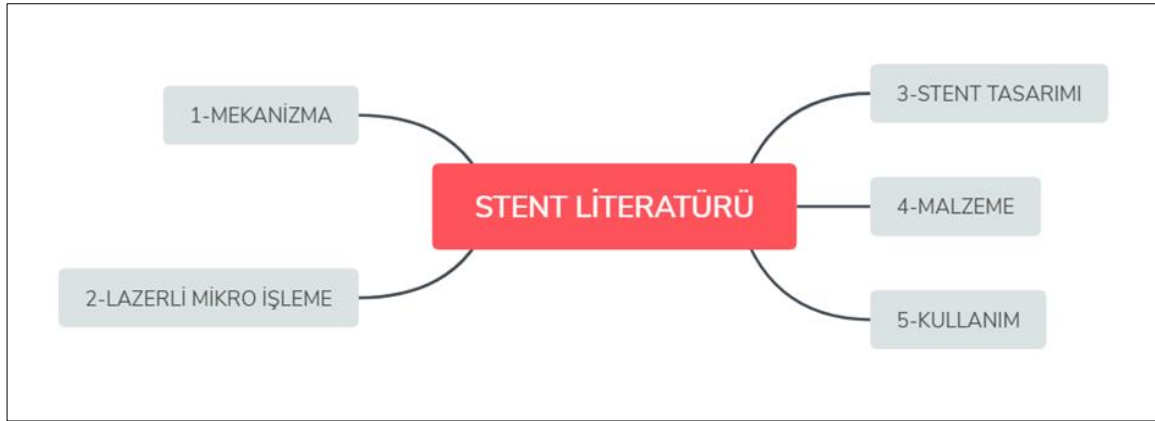
Şekil 2.1. Lazer destekli stent işleme sistemi [1]

Bu bölümde stentlerle ilgili genel bilgilere yer verilerek stent teknolojisindeki güncel durumun tesbiti yapılmıştır. Tüm tez boyunca faydalanan, konuya farklı açılardan yaklaşarak konuyu her yönüyle kavramaya yardımcı olacak akademik ve teknik çalışmalar literatür başlığı altında sıralanmıştır. Bunlara ek olarak şu an kullanımda olan ticari stent işleme tezgahları da tanıtılmıştır.

2.2. Literatür Taraması

Stentler ile ilgili çalışmalar şu ana başlıklar halinde incelenebilir;

İlk bölümde doğrudan stentlerle ilgili çalışmalar yer almaktadır. İkinci bölüm ise stentin kullanım alanlarının daha iyi kavranabilmesi için konunun tıbbi boyutuyla ilgilidir. Üçüncü bölümde stentin kesimini gerçekleştirecek olan lazerle ilgili yayınlar araştırılmıştır. Dördüncü ve son bölümde ise stenti oluşturacak olan paslanmaz borunun kontrolünü lazer ışınıyla koordineli olarak sağlayabilecek mekanizmalarla ilgili çalışmalar incelenmiştir. Bunlara ek olarak stent malzemeleri, mikro işleme ve yeni teknolojiler de literatürde yer alan konu başlıklarıdır.



Şekil 2.2. Stent literatürünün kapsamı

Mekanizma ve lazerli mikro işleme konusunda stentlerle ilgili yapılan çalışmalarda lazer mikro işleme sisteminin tasarımı ve imalatı incelenmiştir. Golubovic tarafından yapılan çalışma esas itibariyle daha geniş kapsamlı bir TÜBİTAK projesine dayanan bir çalışmanın ürünüdür [2]. Tezde yer alan mikro işleme sistemiyle ilgili tasarım ve üretim adımları konuyla ilgili çok önemli bilgiler içermektedir. Hem mekanik aksam hem de kontrolle ilgili detaylı bilgiler oldukça aydınlatıcıdır. Üretilen sistemle deneme kesimleri de yapılmış ve sonuçlarına tezde yer verilmiştir. Bir diğer TÜBİTAK destekli proje ise Şabanoviç tarafından gerçekleştirilmiştir [3]. Hem mekanik kısım, hem de kontrol ve ara yüzle ilgili konular detaylıca incelenmiştir. Yapılan örnek işlemlere de çalışmada yer verilmiştir. Mikro sistem tasarımı ve imalatı konusunda ülkemizde yapılan en önemli çalışmalardan birisidir. Hetrick tarafından ticari olarak sektörde yer alan bir lazerli stent işleme tezgahının tanıtımı yapılmıştır [4]. Tanıtım sırasında tasarımda yapılan

iyileştirmeler detaylıca anlatılmaktadır. Bu anlatımlarda tezgahlarda yaşanan problemler ve bunlara çözüm olarak ortaya atılan öneriler oldukça önemlidir. Sektörde yer alan bir firma tarafından yayınlanan bu çalışma hem mevcut durumu tespit etmesi hem de olası iyileştirmelerle ilgili önemli fikirler vermesi bakımından oldukça önemlidir. Çalışmada özellikle mekanik tasarım ve kontrol sistemiyle ilgili bilgiler önem arz etmektedir.

Kovalenko tarafından ise Q-anahtarlamalı Nd-YAG lazer kullanılarak doğrudan kesim ve lazer frezeleme yöntemiyle stent imalatı çalışılmıştır [5]. Lazerli frezeleme konusunun stentlerdeki uygulaması açısından literatürde yer alan az sayıda yayından biridir. Bu yöntemle stent dizaynı konusuna yeni yaklaşımlar getirilebileceği belirtilmiştir. Lazerle mikro işleme konusundaki diğer bir çalışmada ise Schaeffer tarafından stent imalatını da kapsayacak şekilde lazerli mikro işlemenin temelleri incelenmiştir [6]. Uygulamalar bölümünün alt başlıklarından olan medikal aletlerde stent uygulamasına da yer verilmiştir. Stent uygulamalarında yaşanan tekrardan tıkanma vb. sorunlara çözüm olarak femtosaniye lazerle işlenmiş biyobozunur stentler önerilmiştir. Farklı malzemelerin lazer ile kesilmesini inceleyen Çavdar ise farklı tür ve kalınlıklardaki malzemelerin lazerle kesilmesini konu alan araştırmalarla ilgili genel bilgiler verilmektedir [7]. Yayının özet kısmında belirtildiği gibi: “Deneysel çalışmalar, derleme çalışmaları, kesme parametrelerinin optimizasyonu çalışmaları, lazerle kesmeye yönelik teorik modelleme çalışmaları ve lazerle kesme ile ilgili diğer akademik çalışmalar” incelenmiştir. Detaylı bir literatür taraması sunan bu makalede stentlerin imal edilmesiyle ilgili bilgiler de yer almaktadır. Muhammad ise doktora tezi çalışmasında darbeli fiber lazer, pikosaniye (ps) and femtosaniye (fs) darbeli lazer olmak üzere 3 farklı tip lazerle yapılan kesimleri irdelemiş, bunlara ek olarak literatürde ilk defa sulu kesimle ilgili deneylere ve bu deneylerden elde edilen stent imalatına yönelik iyileştirmelere yer vermiştir [8]. Tezin son bölümüne ise lazerle kesim işleminin 3 boyutlu sayısal modelleme denemesi yapılmıştır. Bu tez stent imalatını birçok yönüyle inceleyen en güncel ve kapsamlı akademik çalışmalardan biridir. Chen ise makalesinde darbeli lazerlerin sürekli lazerlere karşı üstünlüklerine yer verilmiştir [9]. Makalenin medikal aletlere yoğunlaşırken stentlere yer vermesi konu için ilgi çekicidir. Buna ek olarak diğer belirleyici parametreler (maksimum güç, atım süresi, atım frekansı, kesme hızı ve gaz basıncı vs.) de incelenmiştir. Yapılan optimizasyondan sonra deneyler yapılmış ve sonuçlara makalede yer verilmiştir. Momma stent kesim işlemiyle ilgili makale, örnek bir stent üzerinden tasarımdan lazer kesime kadarki süreci özetlemiştir [1]. Makalenin değeri 1999 gibi erken bir tarihte, femtosaniye lazerlerinin stent imalatındaki

kullanımıyla ilgili çalışmalardan bahsetmesi ve oldukça doğru bir gelecek öngörüsünde bulunabilmesidir. Özellikle metal dışı stentler için femtosaniye lazerlerinin kaçınılmaz olduğu konusundaki tespitleri günümüzdeki gelişmelerle doğrulanmıştır. Öncel, yüksek lisans tezinde farklı yöntemlerle kesilmiş malzemeler karşılaştırılmıştır [10]. Lazer kesim, plazma kesim, otojen kesme, su jeti ile kesme, tel erezyon yöntemleriyle kesimler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar açıklanmıştır. Kesim konusuna ek olarak ısı işlem bilgilerine de yer verilmiştir. Tıbbi implantların yanında stentlerle ilgili ayrıntılı bilgilere yer vermesiyle de önemli bir çalışmadır.

Stent tasarımıyla ilgili çalışmalarda ise Serruys kitabında 30'dan fazla farklı stent tipini tanıtmıştır [11]. Piyasada var olan stentlerle ilgili özet bilgilerin ve değerlendirmelerin yer aldığı bu kitap, ticari stent piyasası hakkında bilgi almak için en önemli referanslardan biri olarak kabul edilebilir. Ak'ın yüksek lisans tezinde, stentler daha çok stres ve deformasyon açısından incelense de tezde literatür taraması ve mevcut stentlerle ilgili detaylı bilgiler de yer almaktadır [12]. Tez sırasında Türkiye'de stent imalatı gerçekleştiren bir firmayla çalışılması da tezin pratik değerini artırmaktadır. Tasarım parametreleri belirlenmiş, bilgisayar ortamında 3 boyutlu stent çizimleri yapılmış ve sonlu elemanlar yöntemiyle analizler gerçekleştirilmiştir. Bunlara ek olarak sadece model üzerinden değil ardından imal edilen stent üzerinde yapılan deneysel çalışmalara yer verilmiş ve sonuçları açıklanmıştır. Eshghi vd. Palmaz-Schatz tipi stentin sonlu eleman analizini yapmıştır [13]. Tezimiz kapsamında incelenecek olan stent tipi de Palmaz-Schatz tipi stenttir. Makalede yer alan sayısal verilerden de çalışmamızda yararlanılmıştır. Martin vd. konunun farklı bir boyutu olan stent şişirme sürecini incelemiştir [14]. Bu örnekte de görüldüğü gibi stentler, birçok parametrenin optimize edilmesini gerektiren bir tasarım sürecinin sonucudur. Bu makalede stentin damar içine gönderildikten sonra iç kısımdan uygulanan basınçla damar çeperlerine dayanmasını sağlayan balonların stente etkisi sonlu eleman analiziyle incelenmiştir. Balonun yapısı ve basıncın uygulanma biçimi de stentin damar içerisindeki durumu için önemli parametrelerdir.

Malzeme konusu her üretimde olduğu gibi stent konusunda da çok önemlidir. Malzemeye ek olarak o malzemeye uygulanan diğer işlemler de çok önemlidir. Isıl işlemler ve yüzey işlemleri malzemenin maruz kaldığı şartlarda gösterdiği performansı doğrudan etkiler. Arslan yüksek lisans tezinde, farklı şartlarda plazma nitrülenmiş stentin özelliklerini incelemiştir [15]. Farklı süre, sıcaklık ve azot oranıyla plazma nitrülenmiş malzemeler

üzerinde deneyler yapıp, optimum plazma nitrürleme değerleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu tezin yazarı da stent sektöründe çalışması dolayısıyla tezinde uygulamaya dönük değerli bilgilere yer vermiştir. Hermawan ise kitabında günümüzün sıcak araştırma konularından olan biyobozunur stentler detaylı şekilde konsept aşamasından imalat ve kullanım aşamalarına kadar incelenmiştir [16]. Kitap boyunca örnek uygulama olarak biyobozunur stentler incelenmiştir. Konuyu etrafıca ele alması ve bilimsel yaklaşımı pratik durumla birleştirmesi kitabı benzerlerinden bir adım daha öne çıkarmaktadır. Poncin ve Proft'un konferans bildirisinde ise stent malzemesi ve uygulanan ısıtma işlemleriyle ilgili ayrıntılı bilgiler yer almaktadır [17]. Tüplerin imalat biçimlerinin stentleri nasıl etkilediği konusunun da üzerinde durulmuştur. Yazar aynı zamanda stent tüpü üreticisi olan bir firmada [18] çalıştığı için uygulama açısından da değerli bir çalışmadır. Çalışmanın dikkat çeken yönlerinden birisi de ISO ve ASTM standartlarının genel sınırları çizmekle birlikte, iyi bir stentin sahip olması gereken özellikleri garantilemediğinin belirtilmesidir. Karaman'ın yüksek lisans tezinde, stent imalatı açısından önem arzeden ısıtma işlem konusuna yoğunlaşmıştır [19]. Farklı ısıtma işlem parametreleri ile deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yazarın aynı zamanda Türkiye'de stent imalatı yapan bir firmada çalışıyor olması tezin uygulamaya dönük önemini daha da artırmaktadır.

Stentler tıbbi açıdan da birçok bilimsel çalışmaya konu olmakla beraber, bu alandaki en önemli çalışmalardan olan Sigwart ve Frank'ın editörlüğünü yaptığı kitapta, birçok yazar tarafından stentler tıbbi açıdan incelenmiştir [20]. Stent konusunun tıbbi boyutunun da anlaşılabilmesi açısından stent üzerine çalışan doktorlar tarafından yazılmış olması da çok önemlidir.

Kalp stenti gibi insan hayatını doğrudan etkileyen bir konuda sıkı kuralların ve iyi hazırlanmış standartların varlığı kaçınılmazdır. Bu anlamda TS EN ISO 25539-2, Kalp ve vasküler implantlar-Bölüm 2: Vasküler stentler güncel standarttır [21]. Bu standart, kalp stentleri için temel standarttır. Standart TSE tarafından da aslına atıf yapılarak İngilizce yayınlanmış olup Türkçe çevirisi henüz yayınlanmamıştır. Standart tasarımdan uygulamaya kadar çok geniş bir alana hitap etmekte olup, çok hassas bir işlem olan stent imalatını en güncel bilgiler çerçevesinde bir standarda oturtmaktadır. Ek olarak uygulamada çıkan sorunların kayıt altına alınması vb. gibi konunun farklı boyutlarına da bir standart getirmektedir.

3. STENT İŞLEME TEKNOLOJİSİ

Stentler insan damarının içerisine yerleştirildikleri için oldukça küçüktürler. Stentlerin şişirilmeden önceki çapları 1,8 mm civarındadır. Dolayısıyla stent üretim teknolojisi büyük ölçüde mikro işleme temellidir.

3.1. Mikro İşleme

Mikro işleme, mikron seviyelerindeki boyutlarda gerçekleştirilen işleme türüdür. Stentlerde kalınlıklar mikron seviyelerinde olduğu için bu sistem de bir mikro işleme sistemi olarak değerlendirilmektedir. Bu bölümde de mikro işleme uygulamalarıyla ilgili bilgiler yer almaktadır.

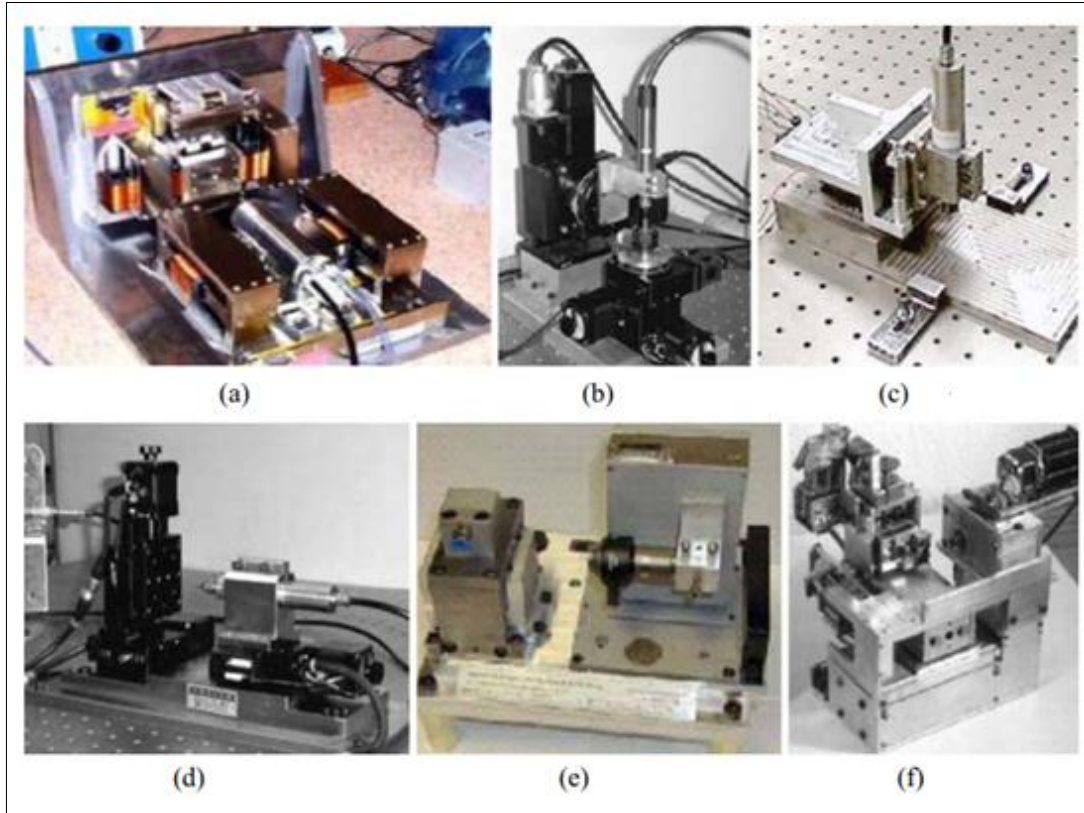


Resim 3.1. Mikro işlemeyle imal edilen medikal malzemeler [22]

Mikro işleme 1 mikrometreden 500 mikrometreye kadar olan malzemelerin işlenmesiyle ilgilenir [23]. Stent imalatında yaklaşık 150 mikrometre kalınlığındaki paslanmaz çelik üzerinde işleme yapılmaktadır. Stent imalatı da mikroişleme olarak değerlendirilmektedir. Mikro işleme ihtiyacı, gelişen teknolojiyle beraber her geçen gün artmaktadır. Özellikle bilişim, elektronik, medikal, enerji, otomotiv, savunma, havacılık ve uzay alanlarında hassas mikro işleme ihtiyacı bulunmaktadır. Bu tez kapsamında tasarlanıp üretilen lazer kesim torna tezgahı stent işleme amaçlı üretilmiş olsa da, diğer birçok mikro tornalama

işlemini de gerçekleştirebilir kapasitededir. Özellikle medikal uygulamalar için ihtiyaç duyulan biyopsi iğneleri ve bir takım implantlarla ilgili işlemler de bu tezgah kullanılarak yapılabilir. Mikro işlemede ileri olan ülkelere bakıldığında, bu ülkelerin en gelişmiş ülkeler olduğu rahatlıkla görülebilir. Özellikle ABD, Almanya, Japonya ve İngiltere gibi ülkeler diğer teknik alanlarda olduğu gibi mikro işleme alanında da önde gelen ülkelerdir. Türkiye'nin ileri teknoloji alanlarında yer edinebilmesi için mikro işleme alanına daha fazla yatırım yapması kaçınılmazdır. Bu amaçla TÜBİTAK tarafından "Mikro İşleme Teknolojilerinin Geliştirilmesiyle" ilgili çağrılar da açılmaktadır [23].

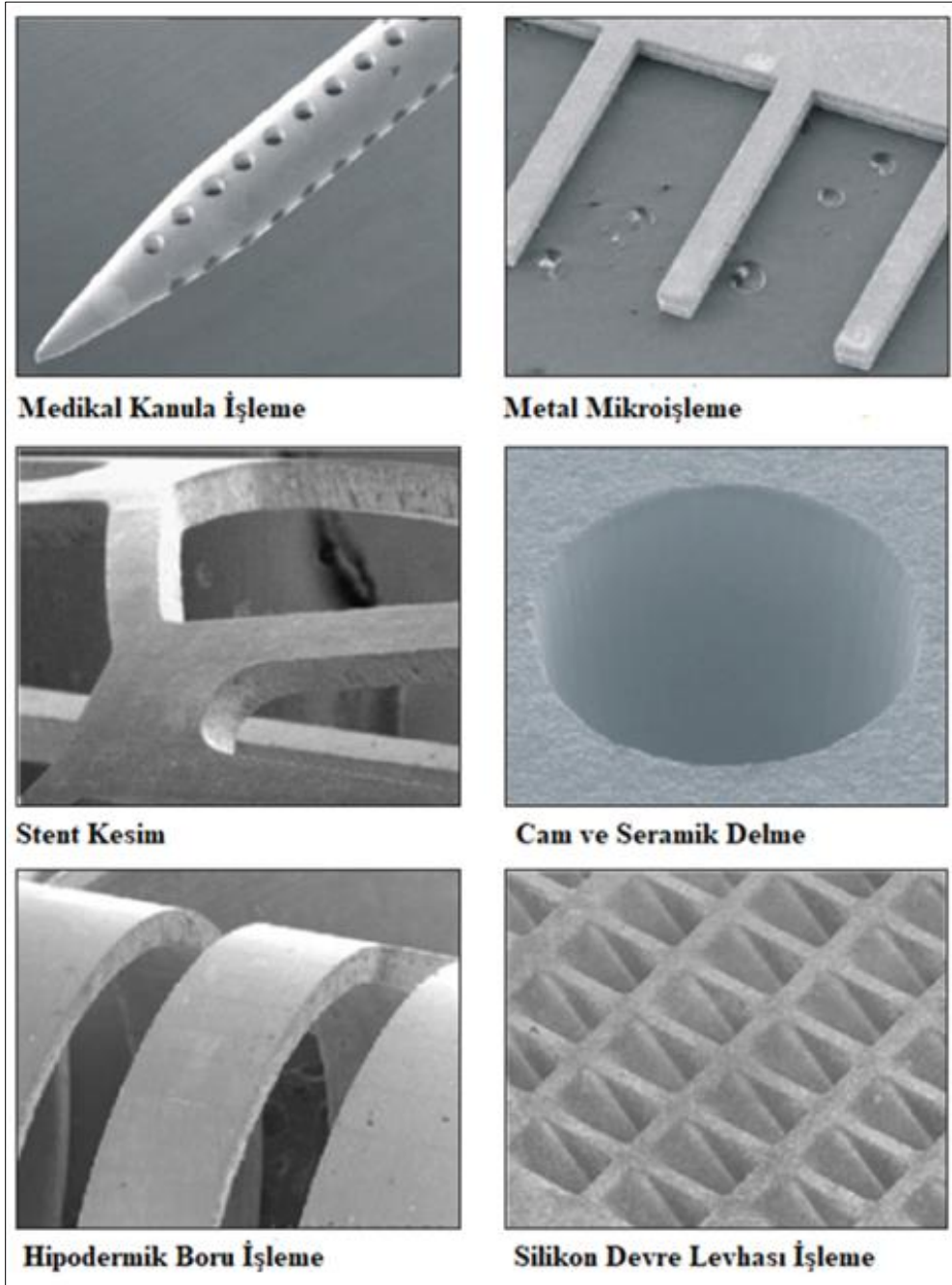
Mikro işleme gereksinimleri için çeşitli tezgahlar tasarlanıp imal edilmiştir.



Resim 3.2. Çeşitli mikro işleme sistemleri (a-f) [24]

Resim 3.2'deki düzenekler incelendiğinde öncelikli olarak küçük boyutlar ve hassas hareket mekanizmaları dikkat çekmektedir. Piyasaya sürülen versiyonlar estetik amaçlı olarak göz alıcı bir kabin içinde sunulsa da, bu tez kapsamında üretilen tezgahta da olduğu gibi işi yapan ana kısmın aslında estetik kaygılardan uzak tasarlanıp imal edildiği ve işlevsellik esas alınarak çalışmaların gerçekleştiği söylenebilir.

Mikron seviyelerinde işlemler yapılırken, istenilen hassasiyeti elde edebilmek için alışlagelmiş mekanik araç ve yöntemlerin dışında özelleşmiş çözümler üretilmesi de gerekmektedir. Sorunların özelleşmiş ve sadece sınırlı bir uygulama alanına ait olması, bu sorunların çözümüyle ilgilenen kişi sayısının az olmasına ve sermayedarların bu tür çözümlerle yeterli kazanç elde etme imkanını zor görmelerine sebep olmaktadır. Dolayısıyla sektör yeterli miktarda yatırım çekememektedir. Sonuç olarak mikron seviyesindeki meydan okumalara, sadece teknik ve mali anlamda güçlü yapılar tarafından cevap verilebilmektedir. Yüksek teknoloji alanında söz sahibi olabilmek için mevcut uygulamalara hakim olmak, bu uygulamaları dikkatlice gözlemlemek ve mikron seviyedeki sorunları özel sorunlar olarak ele almak gerekmektedir. Teknik konularla ilgili çalışmalar yaptıkça, o konunun sınırlarıyla yüzleşilecektir. O sınırlılıklar bir araştırma konusuna çevrildikçe sınırları aşma imkanına sahip olunabilir. Dolayısıyla her bir teknik gelişme başka bir teknik gelişmeyi tetiklemektedir. Mikro işleme yöntemleriyle elde edilen çeşitli ürünler Resim 3.3'te gösterilmiştir. Resim 3.4'te ise sadece tıbbi ürünler içerisinde seçilen mikroişleme yöntemlerine örnekler verilmiştir.



Resim 3.3. Mikroişleme ürünlerinden örnekler [25, 26]



Resim 3.4. Mikro işleme ile üretilen stentler ve medikal ekipmanlar [25]

3.2. Stent İşleme Makinaları

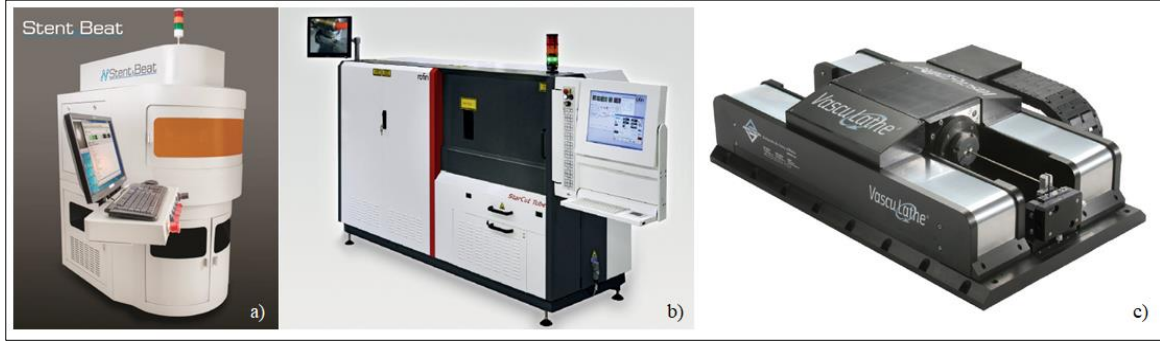
Stent tasarımları ve malzemeleri farklılık gösterse dahi, bu stentlere istenilen formun verilmesi için kullanılan tezgahlar genelde benzerdir. Bu tezgahlarda dikkat çekilecek başlıca hususlardan biri lazer ışın kaynağını üreten firma ile, tezgahın mekatronik kısmını üreten firmanın farklı olmasıdır. Bu tez çalışmasında da sadece mekatronik kısım tasarlanıp üretilmiş olup, lazer ışın kaynağının lazer konusundaki uzman firmalar tarafından sağlanabileceği öngörülmüştür.

Amada Miyachi, Narola Machine, Vasculathe, Rofin, Thetalaser, Spi Laser, Jenoptik, Sigma Laser, Luminous stent işleme tezgahları üreten firmaların başlıcalarıdır. Örnek olarak bunlardan üçünün ürettikleri sistemlerin katalog değerleri tabloda belirtilmiştir.

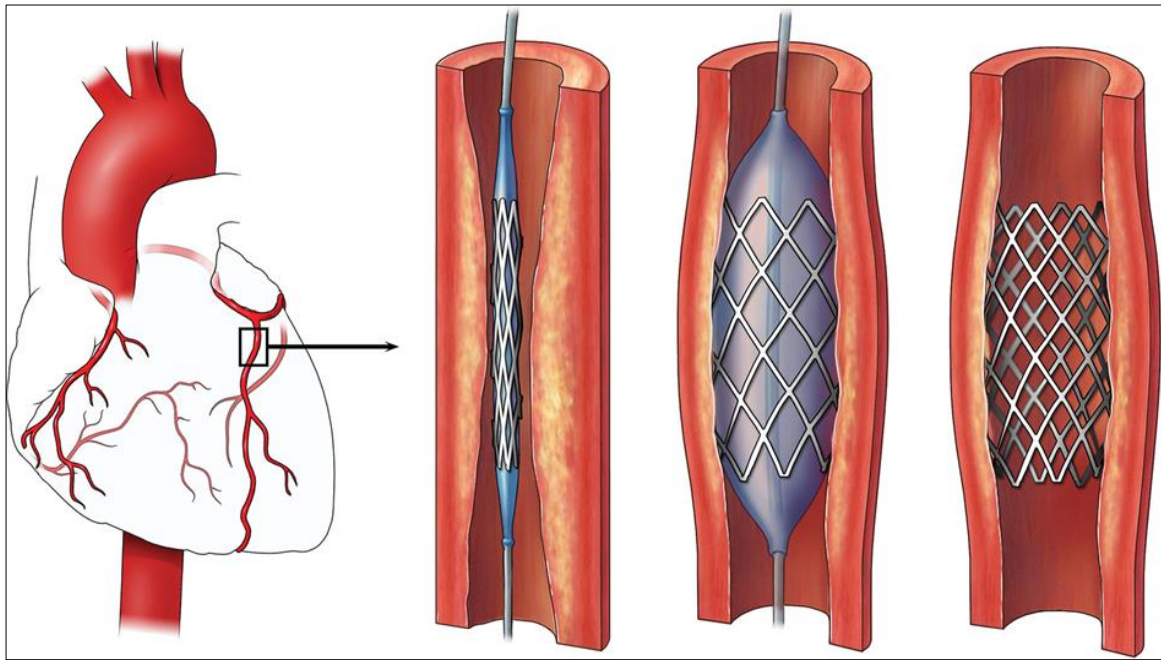
Çizelge 3.1. Farklı stent kesme sistemlerinin karşılaştırılması

	Narola	Rofin	Aerotech Vasculathe
Lazer Tipi	Fiber	Fiber	Opsiyonel
Tüp Çapı	0.5-9.0 mm Kuru Kesim 0.5-3.0 mm Islak Kesim	30 mm'ye kadar	10 mm Kuru Kesim 5.8 mm Islak Kesim
Doğruluk	Doğrusal $\pm 2 \mu\text{m}$ Dönel $\pm 25 \text{ arc sec}$	Belirtilmemiş	Doğrusal $\pm 1 \mu\text{m}$ Dönel $\pm 15 \text{ arc sec}$
Boyutlar	1200x800x1275 mm ³	2200x1430x760 mm ³	Belirtilmemiş
Ağırlık	650 kg	1200 kg	100 kg (sadece mekanizma)

Stent kesme işlemini gerçekleştirebilen makineler ileri mühendislik ve hassas imalat gerektirdiği için genellikle gelişmiş ülkelerde yer alan firmalar tarafından tasarlanıp üretilmektedir. ABD, Japonya (Amada Miyachi) ve Almanya (Rofin) gibi ülkeler bu konuda başı çekmektedir. Ancak Hindistan (Narola) gibi gelişmekte olan ülkelerde de stent işleme makineleri konusunda çalışmalar yapmaktadırlar.



Resim 3.5. Stent Kesme Tezgahları; a)Narola Stent Beat [27], b)Rofin StarCut Tube [28], c) Aerotech Vasculathe [29]

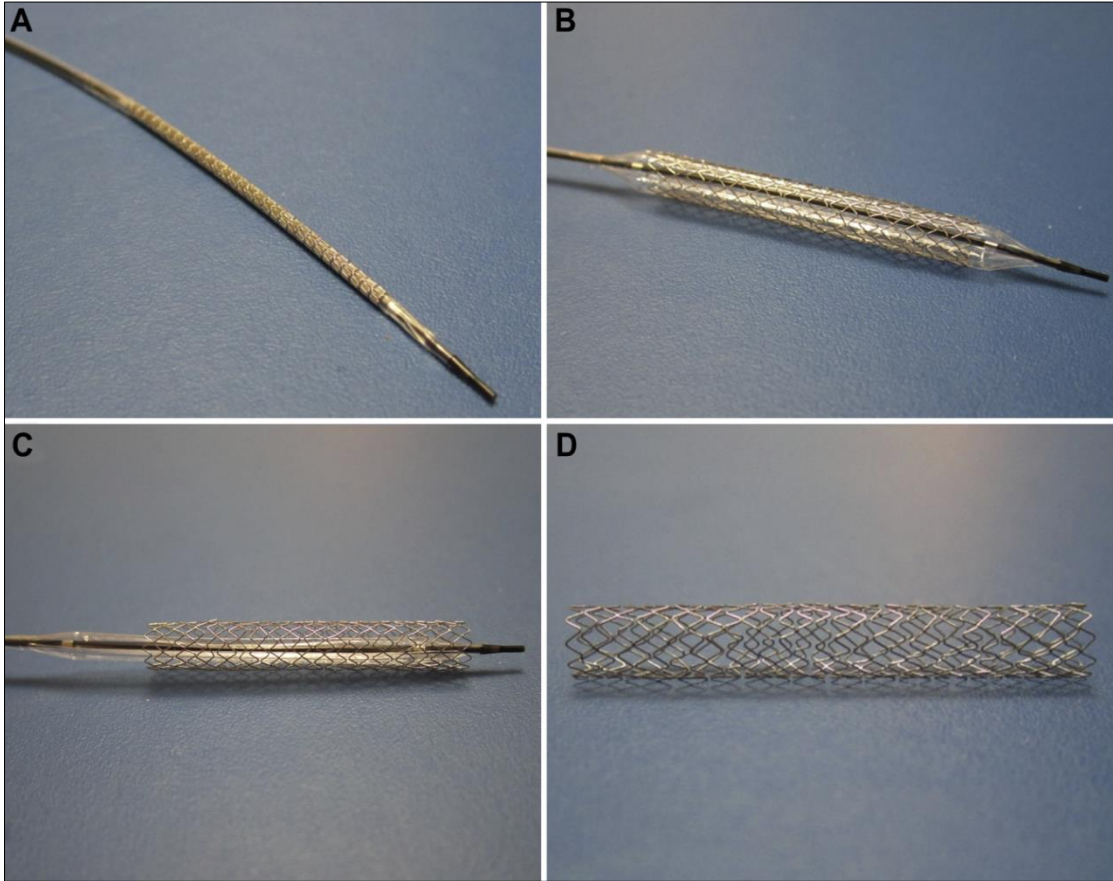


Şekil 3.1. Stent yardımıyla daralan damarın açılması [30]

Bu bölüm boyunca stentlerle ilgili ayrıntılı bilgiler yer almaktadır. Üretilecek ürünün ne olduğu ve nelere dikkat edilmesi gerektiği belirlenmeden tasarım ve imalat çalışmaları sağlıklı bir şekilde yapılamayacağı için stentler incelenmiştir.

3.3. Stentler

Stent; damarlardaki kan akışına engel olan damar iç yüzeyindeki oluşumların etkisini en aza indirmek için damarın içine gönderilen yapının genişletilmesi yoluyla daralan kesitin normal boyutuna getirilmesine yarayan medikal ekipmandır.



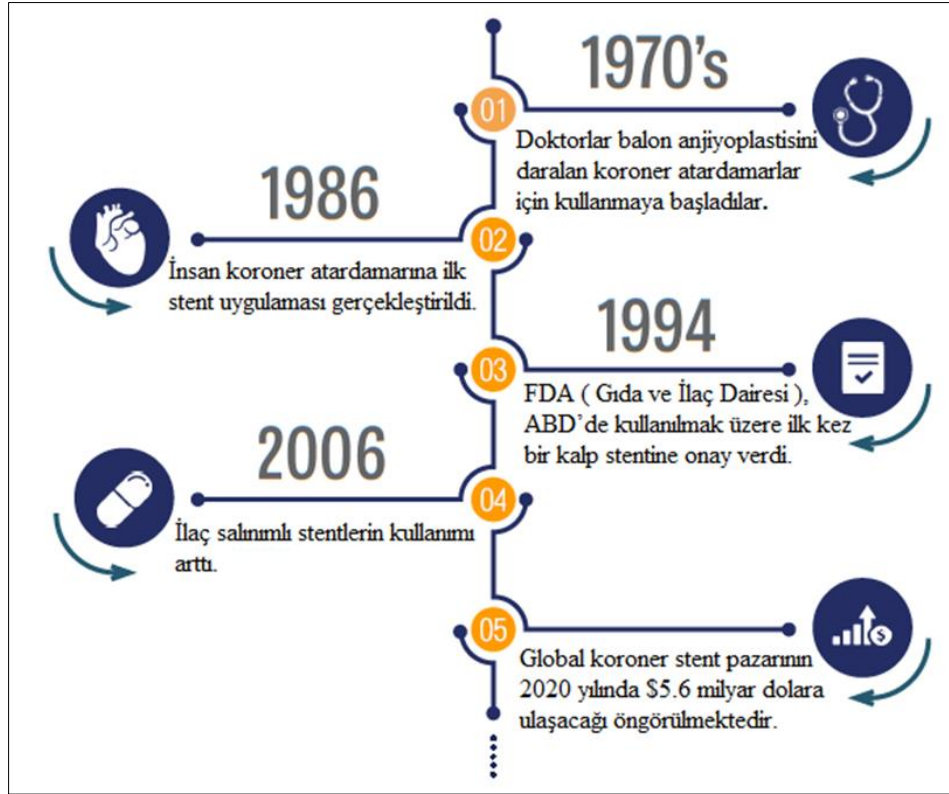
Resim 3.6. Stentin balon yardımıyla genişletilmesi [31]

Stentler için üç nesilden bahsedebilir. İlk nesil stentler, paslanmaz çelikten imal edilen stentlerdi. Bu stentlerin ilk uygulamalarında görülen tekrardan tıkanma oranlarının yüksekliği sorununu çözmek isteyen araştırmacılar, ikinci nesil olarak ilaç kaplı stentleri kullanıma sunmuşlardır. Bu stentler ilaç kaplı oldukları için tekrardan tıkanma oranlarında azalma görülmüştür. Paslanmaz çelikten imal edilen stentler, takıldıkları damardan tekrardan çıkarılamamak gibi önemli bir dezavantaja sahiptirler. Bu sorunu çözebilmek için üçüncü nesil olarak damar içinde eriyebilen biyobozunur malzemelerden imal edilmiş stentler tasarlanmış ve kullanıma sunulmuştur. Biyobozunur stentler yeni uygulamalar oldukları için uzun süreli etkileri üzerine çalışmalar yapılamamıştır. Her yeni nesilde daha

iyi sonuçlara doğru gidilse de hala optimize edilmesi gereken parametreler olduğu bilinmektedir. Stent uygulamalarının başarı durumları yakından takip edilmekte ve konuyla ilgili yayınlar yapılmaktadır [32].

Biyobozunur stentler, günümüzde stentlerle ilgili olarak geline son noktayı temsil etmektedir [16]. Bu tür stentler de lazer kesim yöntemiyle elde edilebilmektedir. Biyobozunur metallerle ilgili magnezyum ve demir temelli alaşımlar öne çıkmaktadır. Bu alaşımlardan beklenen, vücuda uyum sağlayabilmeleri, görevlerini yerine getirmeleri ve önceden tahmin edilebilen bir süre geçtikten sonra tamamen bileşenlerine ayrılarak erimeleri ve vücuttan atılabilmeleridir. Burada ortaya ciddi sorunlar çıkmaktadır ve bu sorunların tam anlamıyla çözümü için birçok bilimsel çalışma yapılmaktadır [32].

Ulaşılması hedeflenen nokta, gerekli optimizasyonlar yapıldıktan sonra; vücuda zarar vermeyen, görev yerine kolaylıkla yerleştirilebilen, vücutta ihtiyaç duyulan görevi en iyi şekilde yerine getirebilen, damarlarda tekrardan tıkanmaya izin vermeyen, kullanım süresi boyunca yapısını koruyarak damardan kan akışını düzenleyen, biyobozunur malzemelerden beklendiği gibi belli bir süre sonra eriyip vücuttan atılabilen bir stent elde edilmesidir. Bu beklentileri karşılayabilmek için öncelikle stentin çalışma şartlarının detaylıca araştırılması ve tespit edilmesi gerekmektedir (Çizelge 3.2). Tüm bu özellikleri sağlayamasa bile benzerlerinden genel olarak daha iyi performans gösteren stent tiplerinin öne çıktığı ve sektörde hakimiyet kurduğu bilinmektedir. Stentlerin ve stent tasarımının kısa tarihi Şekil 3.2’de görülebilir.



Şekil 3.2. Stentlerin tarihsel gelişimi [33]

Çizelge 3.2. Koroner stentin çalışma şartları [16]

Koroner Stentin Maruz Kaldığı Çevresel Şartlar	
Parametreler	Değerler
Kan plazması ana bileşenleri	
	Protein: albumin, globulin, fibrinojen
	İyonlar: klorit, sodyum, bikarbonat, vs.
	Yağlar: kolestrol, fosfolipit, trigliserit
Kanın fiziksel parametreleri	
Yoğunluk	1,06 gr/cm ³
Viskosite	3-4 mPa.s
pH	7,4
Ortalama pik hızı	7-25 cm/s
Sıcaklık	37 °C
Kesme gerilimi	0,3-1,2 Pa
Dinamik yük çevrimi	10 yılda 10 ⁸ çevrim
Kalp atış basıncı	Sistol: 80 mmHg (yaklaşık 10 kPa)
	Diastol: 120 mmHg (yaklaşık 16 kPa)
Tipik kalp atışı ve nabız frekansı	1,17 Hz
MRI sırasında oluşan manyetik alan	0,2-3 Tesla

Özetle stent tasarımında sağlanması gereken başlıca özellikler şöyledir;

- 1- Gerekli mukavemet
- 2- Biyouyumluluk
- 3- Tekrardan tıkanıklığı önleyemeye yardımcı olabilecek geometri
- 4- Damar içinden istenilen bölgeye kolay gönderilebilme
- 5- Şişirildikten sonra süreç içerisinde tekrar eski halini almaması için gerekli form kararlılığı
- 6- Şişirilme sırasında stent boyunca homojen bir genişleme, dar ve geniş bölgeler oluşmaması
- 7- Zaman içinde korozyona karşı önlemler
- 8- Damar içinde sorunsuz kan akışı
- 9- Uygun malzeme seçilmesi, seçilen malzemeye uygun tasarımın yapılması
- 10- Gerekli parametrelerin eksiksiz yansıtıldığı bir analiz ortamında yukarıdaki şartların sağlanıp sağlanamayacağına dair öngörülerin oluşturulması [16].

Günümüzde ticari olarak kullanılan stent tasarımlarının örnekleri bu bölümde verilmiştir. İlk stent tasarımlarından biri olan Palmaz-Schatz tipi stent bu örneklerden ilkidir.

3.3.1. Palmaz-Schatz tipi stentler

Bu tip stentler kalp damarlarına yerleştirilen ilk stentlerdendir. Dönemin imalat yöntemleri kısıtlı olduğu için düz çizgiler halinde kesimlerle stent imal edilmeye çalışılmıştır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan stentlerin karmaşık yapıları göz önüne alındığında Palmaz-Schatz tipi stentler ilkel gibi görünse de üretildiği zaman için çok ciddi bir yeniliğin habercisiydi. Günümüzdeki stentlerin önemli bir kısmı hala aynı mantıkla tasarlanıp imal edilmektedir. Çoğu yenilik gibi tasarımına bir garajda başlanan stentler zamanla büyük sermaye gruplarının da dikkatini çekmesiyle çok büyük yatırımlarla beraber günümüze kadar geliştirilerek gelmiştir. Stentlerle ilgili patent tartışmaları da sektördeki rekabet ve sermaye grupları arasındaki anlaşmazlıkları daha görünür hale getirmektedir.

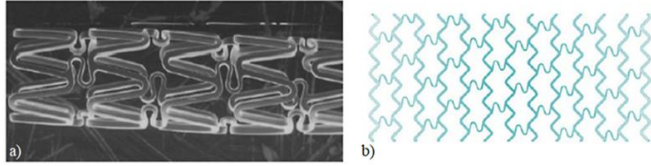
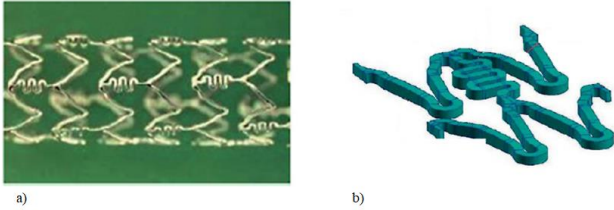
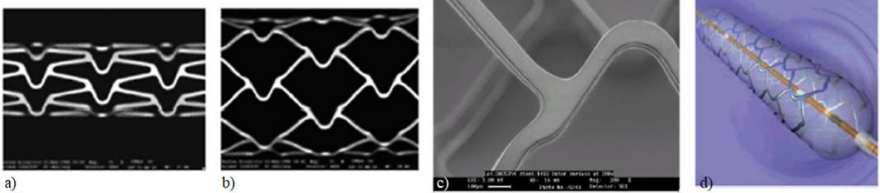
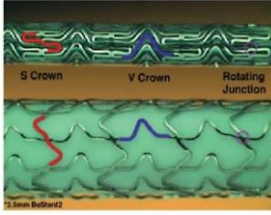
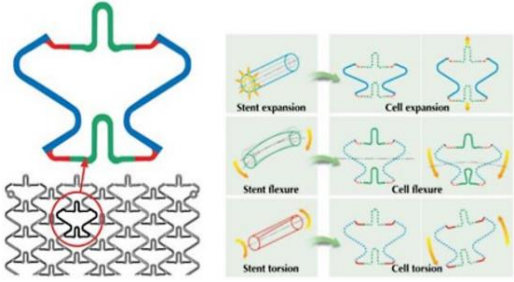


Şekil 3.3. Palmaz-Schatz tipi stent [34]

3.3.2. Diğer stent örnekleri

Birçok farklı firma tarafından piyasaya sürülen farklı stent tipleri için örnekler Çizelge 3.3'te verilmiştir. Tasarımların genel itibariyle birçok ortak yönü olsa da, bilimsel gelişmeler sonucunda ya da patent haklarının ihlal edilmemesi adına özgün tarafları da bulunmaktadır. Tasarımlar sonucunda; tekrardan tıkanma ihtimalini en aza indirme, vucuda maksimum uyumluluk, kan akışının iyi bir şekilde sağlanmasını sağlayacak bir geometri, daha iyi malzemeler, geliştirilmiş ısı ve yüzey işlemler vb. ortaya konabilmektedir.

Çizelge 3.3. Örnek ticari stent tasarımları [11]

DURAFLEX	
MULTI-LINK PENTA	
NIR CONFORMER	
BESTENT 2	
CARBOSTENT SIRIUS	

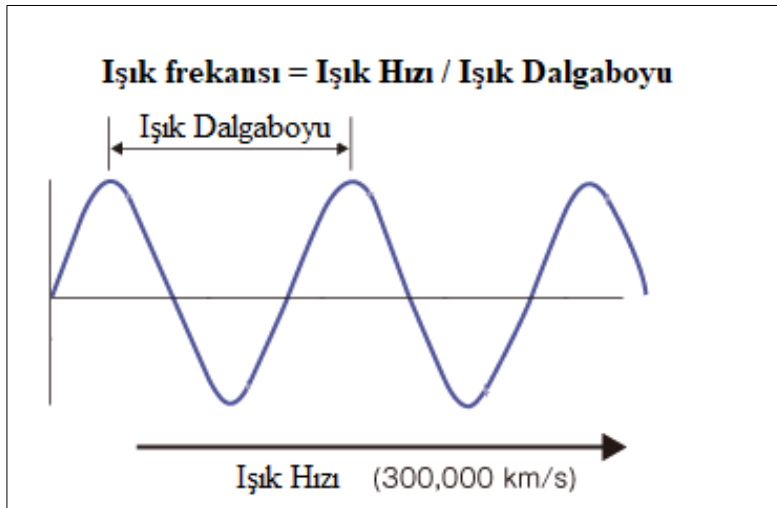
3.4. Lazer

Lazer sayısız uygulama alanı olan bir teknoloji olarak stent imalatının da merkezinde yer almaktadır. Lazer kaynağı tez kapsamının dışında tutulmuş olsa da sistemin anlaşılması açısından lazerle ilgili bilgilere bu bölümde yer verilmiştir.

Lazer “Light Amplified by Stimulated Emission of Radiation” sözcüklerinin baş harflerinden oluşan bir kısaltmadır. Bu ifade Türkçe’ye “Uyarılmış Salınım Işımasıyla Işık

Yükseltmesi” olarak çevrilebilir [35]. Lazer bilim dünyası tarafından ışığın doğasının anlaşılması aşamalarına paralel olarak geliştirilmiş, bir süre sadece araştırma merkezlerinin üzerinde çalıştığı bir konuyken, bu alanda elde edilen başarılarla oldukça geniş kullanım alanları bulmuş, hala da yeni yeni kullanım alanlarıyla ya da zaten kullanıldığı alanlardaki iyileştirmelerle karşımıza çıkmaktadır. Lazeri diğer ışık türlerinden farklı kılan özellikleri şöyle sıralayabiliriz;

“Lazer ışığı çok iyi düzenlenmiş bir ışıktır ve sadece tek bir frekanstan oluştuğu gerçeğini aşan düzeylerde bir düzen gösterir. Bu tür bir yüksek düzen seviyesi doğada çok olağandışı bir durumdur ve lazerlerin böylesine yararlı olmalarının altında yatan neden de budur” [35]. Dolayısıyla lazer ışını, çok iyi odaklanma özelliğine sahip, düzenli, eşevreli bir ışın türüdür. Gücü, ışığın doğadaki davranışının çözülmesi ve bu davranışın yapay yollarla manipüle edilip istenen amaca yönelik olarak kullanılabilir hale getirilmesinde saklıdır.



Şekil 3.4. Işığın grafiği

Dalga boyu, ışığın dalga davranışını gösterdiği düşünüldüğünde iki tepe nokta arasındaki mesafedir. Birim zamanda geçen dalga tepelerinin adedi ise frekanstır. Dalga boyunun frekansla çarpımı dalganın hızını vermektedir. Burada bahsedilen dalga ışık olduğu için, bu çarpımın sonucu aynı zamanda ışığın hızına eşittir.

3.4.1. Atım süresi sıklığı

Atım süresi, lazer kaynağında ısımanın gerçekleştiği süredir. Atım süresinin önemi, buradaki kesim işlemi için yüzey kalitesi ve ölçüsel doğruluktur. Atım süresi uzun olan lazerlerle yapılan mikro kesim ve kaynak işlemlerinde, özellikle malzemenin ince olmasından dolayı parçalar bozulabilmekte ve istenen sonuç alınamamaktadır. Bu soruna çözüm olarak, daha kısa süreli atımlar yapabilen, pikosaniye (10^{-12}) ve femtosaniye (10^{-15}) lazerleri gün geçtikçe daha çok tercih edilmektedir. Femtosaniye (fs) lazerleri saniyenin katrilyonda biri sürede atım yapabilmektedir. İşlemlerdeki kalite, malzemeye bir anda çok enerji verilmesi yerine, aralıklarla enerji verilmesi sayesinde elde edilmektedir. Stent işleme makinelerinde de günümüzde femto saniye lazerleri kullanılabilmektedir.

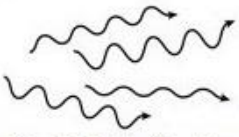
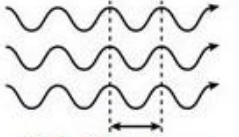
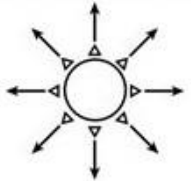
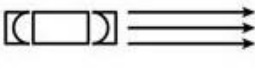
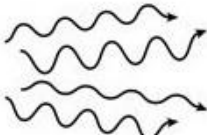
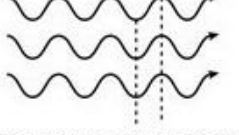
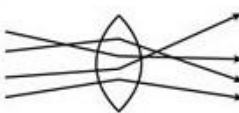
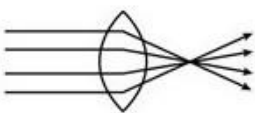
3.4.2. Maksimum güç

Güç birim zamanda yapılan işittir. Lazerlerde belirtilen maksimum güç, lazerin ışıma yaptığı süreyi esas alarak hesaplanır. Örneğin bir lazer 1 saniye boyunca ışıma yaptığı sırada 100 Wattlık güç harcayabilir, ancak lazer sürekli ışıma yapmamaktadır. 1 saniye ışımadan sonra 9 saniye dinlendirilip soğumakta ve 11. saniyede tekrardan ışıma yapmaktadır. Dolayısıyla maksimum güç 100 Watt olsa da, ortalama güç 10 Watttır. Belli aralıklarda kapandığından, tüm sürecin ortalama gücünü hesaplamak istediğimizde karşımıza maksimum gücün çok daha altında bir güç değeri çıkacaktır [35].

3.4.3. Işın kalitesi

Işın kalitesi M^2 (ışın kalite faktörü) olarak sembolize edilmiştir. Bu parametre, lazer ışınının dağılım kalitesini gösterir. İdeal olarak M^2 değeri 1'dir. Işın kalitesinin artması ve ideal olarak 1 değerine ulaşması lazerin kesim yapacağı rotaya odaklanmasını ve kesim yapılması istenen alan dışına ışıma yapmamasını sağlar. Stent kesimi işleminde de kerf'in en aza indirilmesi ve kesilen yüzeylerin mümkün olduğunca pürüzsüz ($Ra < 0.1 \mu m$) olması istenir [36].

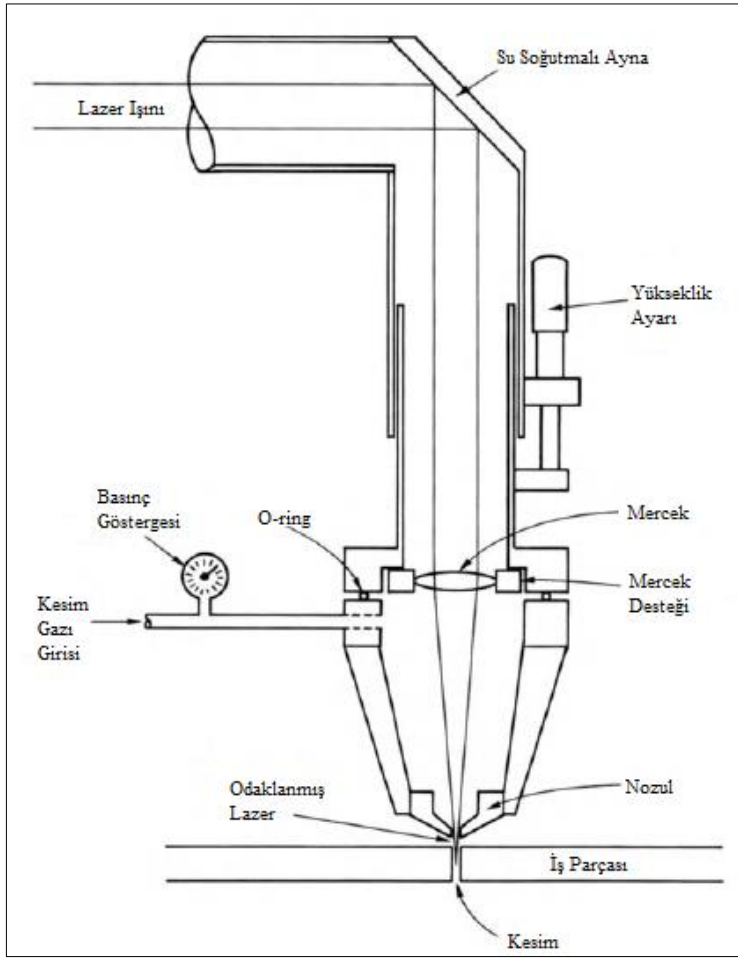
Çizelge 3.4. Lazer Işığının Özellikleri [37]

	Normal Işın	Lazer Işını
➤ Monokromatik / Tek Dalgaboyu	 Çeşitli Dalgaboyları	 Tek Dalgaboyu
➤ Yönlülük (Directionality)		
➤ Coherence (Eşevrelilik)		 Tepeler ve çukurlar hizalı
➤ Yüksekenerji yoğunluğu		

Lazer ışını ile kesme yönteminin diğer termik kesme yöntemlerine göre üstünlükleri;

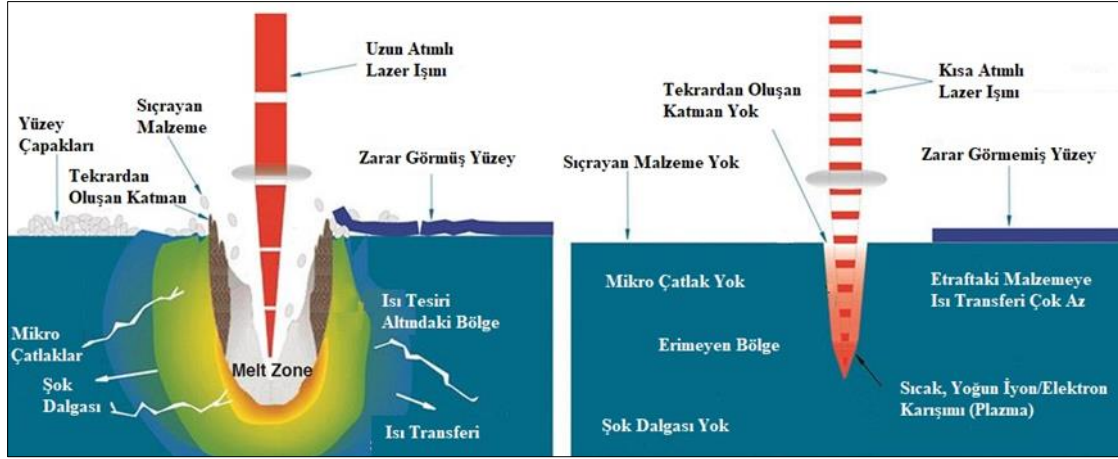
- Makinalar yüksek hareket yeteneğine sahiptirler.
- Kesilen yüzey daha az pürüzlüdür.
- Isıdan etkilenmiş bölge çok dardır.
- Sert malzemeler işlenebilirler.
- Karmaşık şekilli parça üretimi için hem elverişli hem de hızlıdır.
- Dar bir kesim genişliği sunduklarından malzeme israfı azdır [38].

Lazer kesim sistemlerinde kullanılan yapı genel olarak şu şekildedir;



Şekil 3.5. Lazer ışınının parça üzerinde odaklanması [39]

Uzun atımlı ve kısa atımlı lazerler arasındaki fark Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Gerek kesim sonrası ortaya çıkan yüzey kalitesi, gerekse ITAB’ın (Isı Tesiri Altında Kalan Bölge) çok daha dar olması, kesim sırasında sıçrayan eriyik malzemenin azlığından dolayı daha az temizlik gerektirmesi ve yüzeyde daha az deformasyon oluşturması açısından kısa atımlı/femtosaniye lazerleri, uzun atımlı lazerlere göre stent imalatı açısından önemli avantajlara sahiptirler.

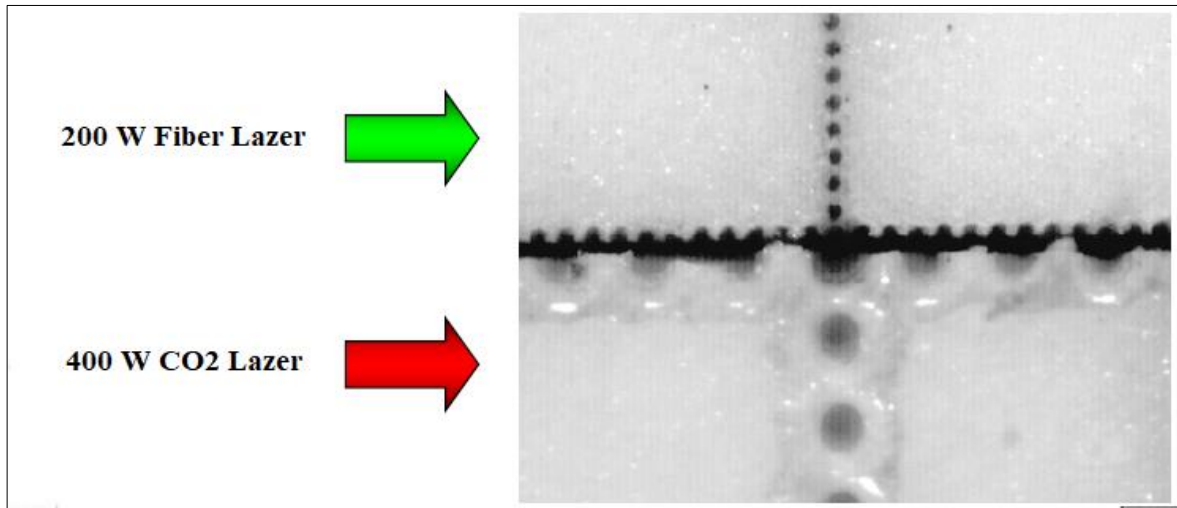


Şekil 3.6. Uzun atımlı ve kısa atımlı lazerlerin kesim sırasında malzemeye etkisi [40]

Lazer tipi olarak fiber lazerler stent imalatında yoğun olarak kullanılmaktadır.

Fiber lazerler 3 önemli avantaja sahiptirler;

- 1- Işın, klasik anlamdaki aynalara ihtiyaç duymadan aktarıldığı için daha kararlıdır.
- 2- Işın kalitesi çok yüksektir.
- 3- Pompadan aktarılan enerjinin %70-80'ini ışına dönüştürdüğü için hem enerji açısından verimlidir hem de sistemden bertaraf edilmesi gereken ısı azdır. Bundan dolayı soğutma işlemi daha kolaydır [41].



Resim 3.7. Fiber lazer ve CO₂ lazerinin malzemeye etkisi [41]

$$d = \frac{4 \cdot \lambda \cdot M^2 \cdot f}{\pi \cdot D} \quad (3.1)$$

λ : dalga boyu (μm) (Fiber lazer: 1,07 μm , CO₂ lazeri:10,6 μm)

f: odak uzaklığı (mm)

D: optik öncesi ışın çapı (mm)

d: odaklanılan yerdeki ışın çapı (mm)

M²: ışın kalitesi (Fiber lazer <1,1; CO₂ lazeri~1,3)

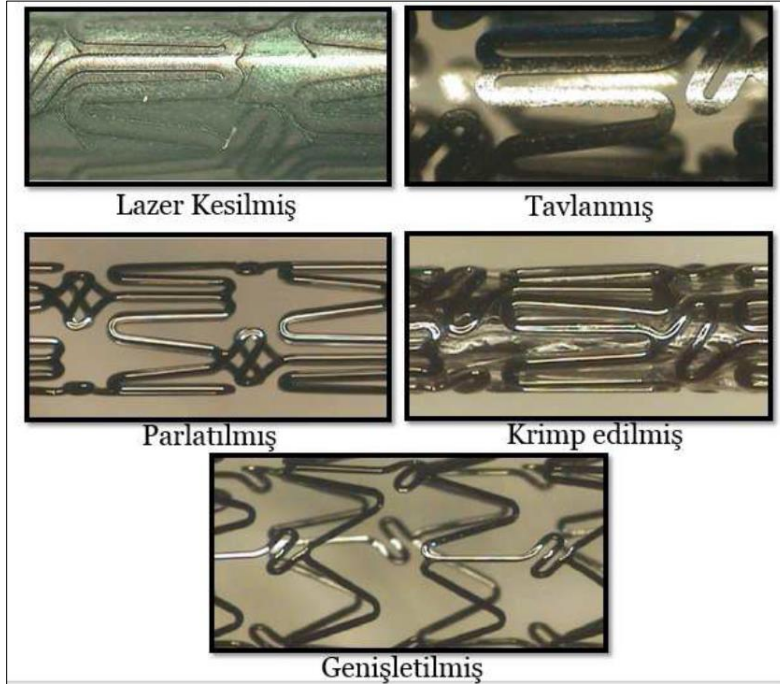
Denklem (3.1)'den anlaşılacağı gibi dalga boyu uzadıkça nokta boyutu da çap olarak aynı oranda genişlemektedir. Fiber lazerlerde dalga boyu, CO₂ lazerlerindeki 1/10'u mertebesinde. Dolayısıyla diğer parametreler sabit kabul edildiğinde, fiber lazerle elde edilecek nokta alanı, CO₂ lazeriyle elde edilebilecek nokta alanının 1/100'üdür. Stent imalatı gibi, mikron seviyesinde çalışılan yerlerde fiber lazerin avantajı nokta boyutuyla ilgili bu karşılaştırmadan da anlaşılabilir.

4. KAVRAMSAL TASARIM

4.1. Stent Tasarım ve İmalat Prosesi

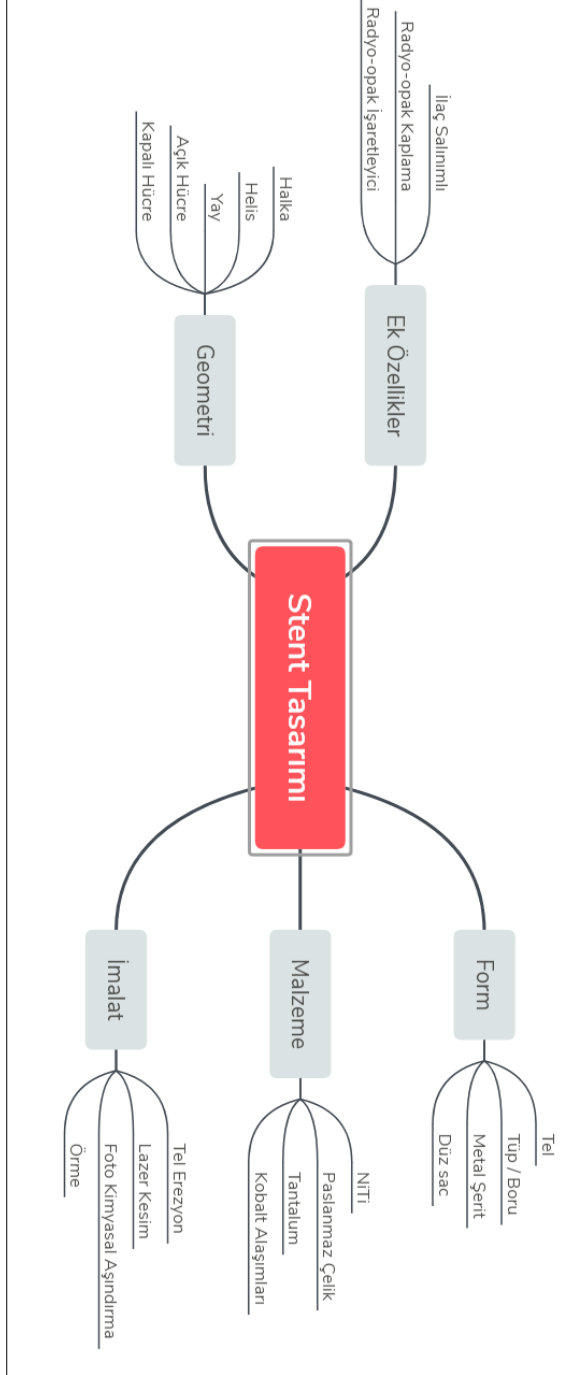
Stent tasarımı birçok farklı gereksinimi sağlamak üzere yapılan bir optimizasyon işlemidir. Patentle korunan tasarımlara alternatif olarak bazı durumlarda iyileştirme sayılabilecek farklılıklar sağlamasa da farklı tasarımlar piyasaya sunulmaktadır. Bunda yapılan Ar-Ge çalışmasından öte, patent sorununun aşılması için ortaya konan farklı olma çabasının etkin olduğu düşünülebilir [42].

Herhangi bir ürünü tasarlarken, önce bu ürünün ne için kullanılacağı, çalışma ortamı, hangi malzemenin kullanılacağı, varsa estetik beklentiler, tahmini kullanım süresi, uyulması gereken bir standard var ise bu standart dikkatle incelenir ve tasarıma bu bilgilerle başlanır. Tasarım yapılırken imalat şart ve yöntemleri de dikkate alınır. Böylelikle mevcut imkan ve kabiliyetler ile üretilmesi teknik olarak mümkün olmayan tasarımlar ortaya çıkmamış olur. Tasarım yapılırken -var ise- ısıtılma işlemi, kaplama, boya vs. gibi imalatın çeşitli aşamalarında yapılacak işlemler de dikkatlice değerlendirilir ve en doğru rota seçimi yapılır. Stent için de bu tasarım adımları genel hatları ile geçerlidir.



Resim 4.1. Stent üretiminde aşamalar [19]

İsterleri karşılayacak şekilde tasarlanan stent, lazer kesim işleminin gerçekleşmesinin ardından ısıtılma işlemi ve parlatma gibi aşamalardan geçer. Stent tipine göre süreçte farklılıklar olabilir. Paslanmaz çelikten imal edilen klasik bir stent ile biyobozunur malzemeden üretilen stent arasında farklar olması doğaldır [19].



Şekil 4.1. Stent tasarımının bileşenleri [16]

Stent imalatına yönelik bir tezgahın tasarımı yapılırken stent tasarımlarının da bilinmesi oldukça önemlidir. Elde edilmesi gereken şekilleri, gereken doğrulukta, standartlara uygun şekilde elde edebilmek için gereken şartlar tespit edilmeli ve tezgahın elde edilecek hareketlerin bu şartlara uygun olması sağlanmalıdır. Gerekli olan hassaslık tanımlanmalı ve üretimi bu hassaslık ölçüleri içerisinde tutmak için gereken şartlar sağlanmalıdır. Yeterli hassasiyetten fazlasını sağlamak için yapılacak ek giderler maliyetleri artıracaktır. Makine imalatında esas olan ihtiyacının karşılanmasıdır. Kullanılması öngörülmeleyen özelliklerle donatılan bir makinenin ekonomik olması beklenemez. Genel eğilim ihtiyaç duyulan işi ekonomik olarak yerine getirebilecek bir makineyi tercih etmek yönündedir. Gerek akademik çalışmalarda gerekse sanayide bu ilke gözden kaçırılmamalıdır [43].

Tezgahta stentin imal edileceği paslanmaz mini tüp adım motor yardımıyla kendi ekseninde döndürülmektedir. Buna ek olarak x ekseninde doğrusal hareketi sağlayan bir başka adım motoru da lineer kızak ve rulmanlar yardımıyla çalışmaktadır. Tezgah 2 serbestlik derecesine sahiptir. Lazer ışının özelliklerine göre lazer ışını uygun bir noktaya lazer sisteminin imkanlarıyla odaklanabilmektedir. Tezgahta kullanılan 2 adım motoru Arduino tarafından kontrol edilmektedir. Stentler genellikle belli bir şeklin tekrar edilmesi şeklinde imal edildiği için tek bir şekil için yapılacak hesaplamalar tüm stentin imalatı için yeterli olmaktadır. Stent imalatında kullanılan lazer sistemleri genellikle ileri teknoloji ürünü ve pahalı sistemlerdir. Dolayısıyla tez kapsamında tezgahın lazer aksamı dışında kalan hareket mekanizmaları tasarlanmış ve üretilmiştir.

4.2. Sistemin Kavramsal Tasarımı

Kavramsal tasarım, belli bir görevi yerine getirmesi için üretilmesi planlanan bir makineyi, üretime geçilmeden önce kavramsal olarak tasarlama işlemidir. Programlama için algoritma ne ise, makine imalatı açısından da kavramsal tasarım odur. Makine imalatında sırasıyla aşağıdaki süreçler işler.

4.2.1. İhtiyacın belirlenmesi

Teknik gelişimin ana motivasyonu ihtiyaçtır. Bir ihtiyaç mevcut yollarla giderilemiyorsa, giderilebilse bile mevcut yol ya da yollar ekonomik değil ise yeni bir makine yapma ihtiyacı ortaya çıkar. Bu ihtiyaç öncelikle herkesin aynı şeyi anlayacağı net ifadelerle

dönüştürülmelidir. Örneğin, bir tank tasarlanıyor ise maksimum hızı, ağırlığı, etkili menzili, kullanabileceği mühimmatlar vb. özellikleri net olarak belirlenmelidir. Bazı durumlarda ilk başta belirlenen sayısal değerleri sağlamak mümkün olmasa da, tasarıma başlarken en çok ihtiyaç duyulan bilgilerden biri olan makinenin hedef özelliklerinin bilinmesi tasarımcının karşılaşacağı belirsizlikleri en aza indirir ve karşısına ulaşılması için çaba sarf etmesi gereken bir hedef koyar. Örneğin Nazi Almanyasının makinecilikteki başarısının sırrı ulaşıp ulaşılamayacağı hiç umursanmadan mühendisler çok zorlu hedef özellikler dikte ettirilmesidir [44]. Savaş dönemlerinde teknolojinin sıçramalar göstermesinin en önemli sebeplerinden biri de zorlu hedeflere kısa süreler içerisinde ulaşmayı zorunlu kılan şartlardır.

4.2.2. Mali analizin yapılması

İhtiyaçlar belirlendikten sonra, bu ihtiyaçları giderecek bir makinenin yapılması ekonomik mi, değil mi sorusu gündeme gelir. Bazı durumlarda bir ihtiyacı karşılayacak parlak bir çözüm fikrine sahip olunabilir. Ancak fikrin parlak olması, tasarlanan makinenin mali açıdan ekonomik olacağını garanti etmez.

Süreçleri hızlandırmak adına detaylı mali analizden önce “ön mali analiz”i yapmak gereklidir. Mevcut çözümlerin maliyetleri göz önüne alınarak, imal edilmesi planlanan makinenin maliyeti değerlendirilmelidir. Bir makine piyasada benzerlerinden kalite, ekonomiklik, kullanım kolaylığı ve servis imkanları gibi birkaç özelliği ile öne çıkabilir. Dolayısıyla bir projeye zaman ve para ayırmadan önce, o projenin ekonomikliği irdelenmelidir. Belki bu irdeleme tek tek kalemler üzerinden yapılamaz ama gerek sektör temsilcileriyle görüşmeler gerekse o zamana kadar edinilmiş tecrübelerle beraber makinenin mali açıdan piyasa tarafından nasıl karşılanabileceğiyle ilgili bir öngörude bulunulabilir.

4.2.3. Kavramsal tasarımın yapılması

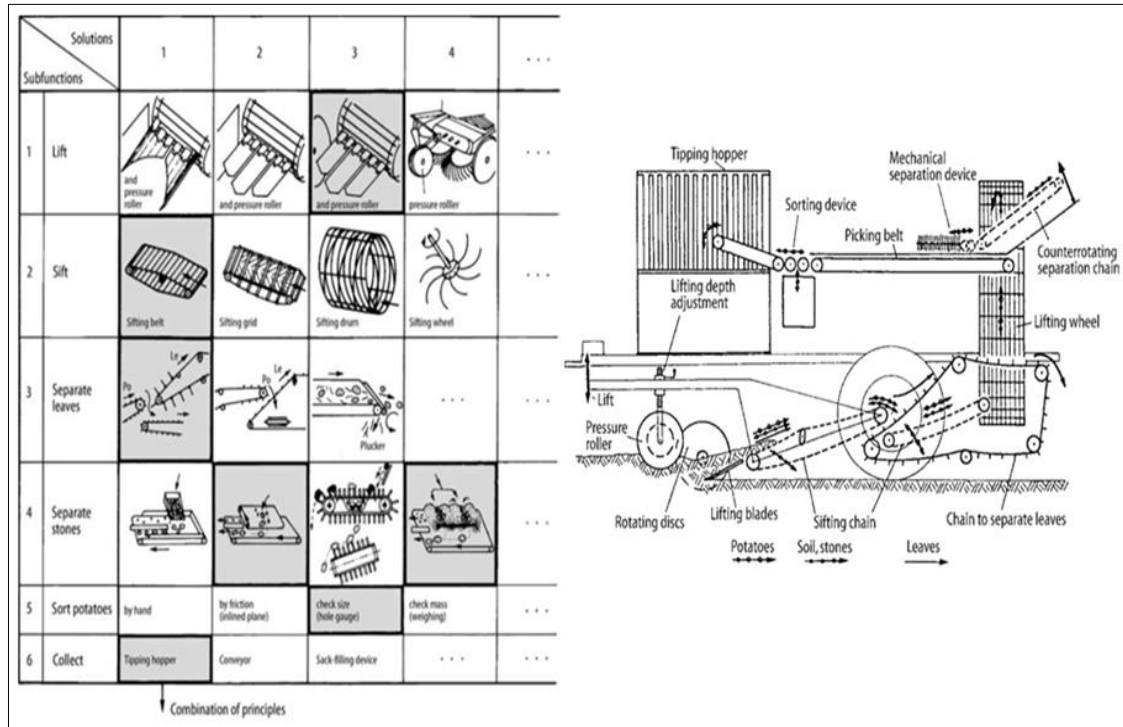
İlk iki aşamayı geçen makine fikirleri, artık fikirden daha somut bir evre olan kavramsal tasarım aşamasına geçer. Bu aşamada makine fikrini hayata geçirmenin olası yüzlerce yolundan en idealini bulmak için yoğun bir çaba sarf edilir. Tüm seçenekler masaya yatırılır. Bu aşamayı bir forma bağlamak önemlidir. Edinilmiş tecrübelerle oluşturulan veri

tabanından faydalanarak tüm ihtimaller ortaya çıkarılmalıdır. Makinanın mekanik tasarımının yanında elektronik, hidrolik ve pnömatik gibi diğer teknik detaylar ile çevreye etki ve standartlara uygunluk gibi yönleri de göz ardı edilmemelidir. Bu aşama fikrin uygulamaya nasıl dönüştürüleceğine karar verilen önemli bir aşamadır. Gerek makinenin teknik özellikleri gerekse maliyeti bu aşamada yapılan seçimlerle şekillenir. Kullanılacak tahrik elemanları, güç aktarım organları, mekanizmalar, bağlantı elemanları, malzeme seçimleri bu aşamada yapılır. Tüm bunların yapılabilmesi için sektörel tecrübe, mevcut benzer ürünlerin detaylı incelenmesi, konuyla ilgili literatüre vakıf olunması ve yeniliklerin takip edilmesi önemlidir. İhtiyaç analizinde belirlenmiş tüm özellikleri sağlayabilecek bir makine birçok şekilde tasarlanabilir. Kavramsal tasarımın önemi, birçok tasarım şeklini birbiriyle karşılaştırma imkanı vermesi ve alınacak detay tasarım kararlarının gerekçelendirilmesidir. Gerekçelendirilmemiş her tasarım tercihi, doğru bir tercih bile olsa eksiktir. Şeffaf tasarım sürecinde, salt tecrübe tasarım tercihlerinin sebebi olarak sunulmamalıdır. Tecrübe öznel bir kavram olduğu için, tasarımın bilimsel olarak gerçekleştirilmesi söz konusu ise nesnel verilerden yola çıkarak hareket edilmesi tercih edilir. Dolayısıyla tüm tasarım tercihleri gerekçelendirilip, kaydedilmelidir. Detay tasarımının tüm girdileri kavramsal tasarım sürecinin çıktılarıdır.

Çizelge 4.1. Kavramsal tasarım esnasında tasarım değerlendirme ana başlıkları ile kontrol listesi [43]

Ana Başlıklar	Örnekler
Fonksiyon	Seçilen çözüm ilkesi veya kavram seçeneği gereksinimini sağlayan önemli yardımcı fonksiyon taşıyıcı karakteristikleri
Çalışma İlkeleri	Basit ve açık işlevsellik, yeterli etki, az olumsuz etkilere göre seçilen ilke veya ilkelerin karakteristikleri
Şekillendirme	Az parça sayısı, düşük kavramsallık, az boşluk ihtiyacı, genel oluşum ve biçim tasarımı ile özel problemlerin olmaması
Emniyet	Tercihli doğrudan emniyet teknikleri uygulama (doğal olarak güvenli), ek emniyet önlemleri gerekmemesi, endüstriyel ve çevresel emniyeti garanti etme
Ergonomi	Tatminkar makina insan ilişkisi, sağlığı zorlama ve bozma olmaması, iyi estetik
Üretim	Az ve oturmuş üretim yöntemleri, pahalı ekipman olmaması, az sayıda, basit parçalar
Kalite Kontrolü	Az test ve kontrole ihtiyaç duyma, basit ve güvenilir işlemler
Montaj	Kolay, uygun ve hızlı, özel yardımlara ihtiyaç duymayan
Nakil	Normal nakil vasıtası, risklerin olmaması
İşletim	Kolay işletim, uzun servis ömrü, az aşınma, kolay ve basit idare etme
Bakım	Az ve basit bakım ve temizleme, kolay denetim, kolay tamir
Geri Dönüşüm	Parçaları kolay geri kazanma, emniyetli imha
Maliyetler	Özel işletim ve ilişkili diğer masraflar olmaması, programlama riskleri olmaması

Çizelge 4.2. Kavramsal tasarımda örnek karar verme süreci [43]



Çizelge 4.3. Kavramsal tasarımda karar verme sürecindeki seçenekler

Bileşen	Seçenek 1	Seçenek 2	Seçenek 3
Kontrolcü	Arduino Uno	Raspberry Pi	Diğer (Mach3 vs.)
Tahrik Elemanı	Lineer motor	Adım Motoru	Servomotor
Hareket Dönüştürücü	Somun ve trapez mil	Yaylı somun ve trapez mil	Bilyalı somun ve vidalı mil
Temel Yapı	NC	Sac Büküm	Hazır Düzenekler

Teze konu makinenin kavramsal tasarımı aşamasında tabloda görülen başlıklarda kararlar alınması gerekmiştir. Kararların alınmasında ekonomiklik ön planda tutulmuştur. Gerekçeler bileşenlerin tanıtıldığı bir sonraki bölümde verilmiştir.

5. ŞEKİLLENDİRME TASARIMI

5.1. Detay Tasarım

Kavramsal tasarım tamamlandıktan sonra detay tasarım aşaması başlar. Bu aşamada artık belirsizlik büyük ölçüde çözüme kavuşturulmuştur. Ölçülendirme, malzemelerin ve imalat yöntemlerinin netleştirilmesi, imalat ve kontrol için dökümanların hazırlanması bu aşamada gerçekleştirilir.

Detay tasarım sırasında dikkat edilmesi gereken başlıca noktalar şunlardır; ekonomiklik, kolay imalat, mümkün olduğunca özel imalattan kaçınma ve kolay ulaşılabilir standard malzeme kullanma, kolay bakım, kullanım ömrü boyunca garanti edilmiş sürdürülebilirlik [43].

Detay tasarım imalat öncesi son tasarım evresidir. İmalat aşamaları dikkate alınmadan yapılmış bir detay tasarım, hem imalat ekibinin verimli çalışmasını engeller, hem de imalat boyunca ortaya çıkan sorunlarla tasarımcıları uzun süre boyunca uğraştırır. İmalatta sorun çıkartan bir tasarım, kavramsal ve detay tasarımı doğru bir şekilde yapılmamış tasarımdır. Tasarımcı ekip, detay tasarım sırasında imalatı gözünde adım adım canlandırmalı, örneğin kaynak torcunun giremeyeceği yere kaynak, somunun sıkılamadığı yerde bağlantı elemanı olarak somun tasarlanmamalıdır. Tasarımcı imalatı bilmeli, montaj resimlerini hazırlarken kendini atölyede çalışan bir işçi yerine koyup, zihninde imalatı adım adım gerçekleştirebilmelidir. Montajı iyi planlamalı, sadece işlem sırasını değiştirerek bile montajı kolaylaştırabileceğini unutmamalıdır. Bunlara ek olarak, tasarımcılar imalatçıyla hiç görüşme imkanları yokmuş gibi doküman hazırlamalıdır. Dünyanın herhangi bir yerinde o teknik dökümanları alan herhangi bir imalatçı, tasarımcıya soru sorma ihtiyacı duymadan sadece dökümanlardan faydalananarak imalat yapabilmelidir. İmalat boyunca yapılacak kontroller de formlara bağlanmalı ve önemli olan noktalara vurgu yapılarak, o noktaların gözden kaçırılmaması sağlanmalıdır.

5.2. Düşük Maliyetli Ar-Ge Yaklaşımı ve Mali Analiz

Araştırma-Geliştirme (Ar-Ge) bu tez kapsamında OECD tarafından yapılan “bilgi dağarcığını artırmak amacıyla sistematik olarak sürdürülen yaratıcı çalışma ve bu bilginin

yeni uygulamalar yaratmak için kullanılması” [45] tanımının yanında Türkiye’de üretilmeyen yada üretilmeyen yüksek teknoloji gerektiren alanlarda yapılacak her türlü yerileştirme çabası olarak da değerlendirilmektedir. Dolayısıyla bu tez çalışmasında, Türkiye’de üretilmeyen bir mikro işleme sisteminin tasarlanıp üretilmesi çalışılmıştır. Bu bağlamda, tez sırasınca Ar-Ge ifadesinden, yüksek teknoloji ürünlerinin yerileştirilmesi de algılanmalıdır.

Bu tez çalışmasının ana motivasyonlarından biri de düşük maliyetli Ar-Ge çalışmalarının metodolojisini tespit etme çabasıdır. Ülkemizde Ar-Ge çalışmaları genellikle yüksek maliyetli ve mali kaynakların verimsiz kullanıldığı faaliyetler olarak görülmektedir. Bu algı kısmen gerekçelendirilebilse de genel olarak henüz ülkemizde Ar-Ge kültürünün anlaşılamadığını ve yaygınlaşmadığını göstermektedir. Ar-Ge çalışmaları her zaman yüksek maliyetli olmak zorunda değildir. Bu tez çalışması kapsamında tasarlanıp imal edilen makine, hiçbir kurum veya kuruluştan destek alınmadan 420 ₺ gibi düşük bir maliyetle gerçekleştirilebilmiştir. Burada dikkat çekilmesi gereken nokta, mevcudiyetin mükemmellikten önce gelmesi gerektiğidir. Çünkü var olmayan bir şeyin, mükemmelliği üzerine konuşmak imkansızdır. Ar-Ge çalışmaları yapısı gereği araştırmacıların çok tecrübesi olmayan konularda yaptıkları çalışmalardan oluşur. Ar-Ge’nin yenilik tarafını vurgulandığında, Ar-Ge’cilerin çoğu zaman hakkında tecrübe sahibi olmadıkları, ilk defa yapacakları işlerle uğraştıklarını belirtebiliriz. Bu yüzden iyi bir Ar-Ge’ci, hakkında çok az bilgiye sahip olduğu yada hiçbir şey bilmediği bir konuyu kısa sürede araştırıp, kavrayabilen, literatürü hızlıca tarayıp, kavrayıp özümseyebilecek bir kişi olmalıdır. Aynı işi yıllardır yapan bir insanla, Ar-Ge’cinin farkı budur. Çünkü Ar-Ge’ci, hep “tecrübesiz”dir. Bu tecrübesizlik, Ar-Ge’cinin ana hedefi olan yenilik arayışından gelir.

Bu tez kapsamında üretilen sistem incelendiğinde; yapılması planlanan düzenek için, en pahalı doğrusal kızaklar, kontrolcüler, stent hammaddesi vs. seçilebilecekken bu pahalı ürünler yerine, bu işleri mükemmel olarak yapamasa bile bu amaçla kullanılabilecek ekonomik seçenekler değerlendirilmiştir. Çünkü işin doğasını kavrayabilmek için o işin mükemmel bir şekilde yapılması gerekmez. Bir alandaki ilk Ar-Ge çalışmalarında çok kaliteli ve pahalı ekipmanlarla çalışmak araba sürmeyi çok lüks bir arabada öğrenmeye çalışmak gibidir. Oysa en ucuz arabayı kullanarak direksiyon eğitimi alan bir sürücü aday, bu ucuz arabada tecrübe kazandıktan sonra çok lüks bir arabayı tecrübeli bir sürücü olarak güvenle kullanabilir. Pahalı bir arabayla yapılacak ufak bir kaza bazen ucuz arabayı

tamamen kullanılamaz hale getirmekten daha pahalıya mal olabilir. Buradan yola çıkılarak düşük maliyetli Ar-Ge üzerine düşünülürse, aslında geliştirme çalışmaları yapılacak bir alanda, o alanla ilgili genel bilginin edinilebileceği bazen gerçek boyutlu bazense ölçeklendirilmiş düşük maliyetli sistemler üzerinde çalışılabilir. Bu düşük maliyetli sistemlerden edinilen bilgi ile, yüksek maliyetli bileşenlerin seçimleri daha sağlıklı yapılabilir ve ihtiyaç duyulan kadar hassasiyet ve kalite için bir optimizasyon yapılabilir.

Bu tez çalışması aşağıda belirtilen maliyetlerle gerçekleştirilmiştir;

Çizelge 5.1. Malzeme/ekipman maliyet tablosu

Kullanılan Malzeme / Ekipman	Fiyat (TL)
Vidalı mil ve yaylı boşluksuz somun	62
Mandrel	26
Kızak ve araba	65
Step/adım motoru (2 adet)	120
Arduino Uno (klon)	32
Motor sürücüsü	13
Sac metal yapı	55
Diğer (adaptör, fan vs.)	50
	423 TL

5.3. Bütüncül Tasarım ve İmalat

Bütüncül tasarım ve imalat aslında tarihte de çok sık rastladığımız bir yöntemdir. Tarihte “hezarfen” denen bir bilgin tipi vardır. Bu bilginler sadece belli bir alanda çalışmalar yapmazlar. Örneğin İbni Sina, kendisi halk arasında tıp alanındaki çalışmalarıyla bilinse de aslında çok önemli bir felsefeci, matematikçi ve kimyacıdır [46]. Isaac Newton ise hem fizikçi, hem kimya/simyacı hem de çok önemli bir gökbilimci idi. Bilim tarihinin en başarılı simaları sadece tek bir konuda uzmanlaşanlar değil, birçok konuya hakim olan ve olayların genel yapısını kavrayan zihinlerdir. Thales, Biruni, Ömer Hayyam ve Albert Einstein gibi bilginler de konulara etraflıca yaklaşabildikleri için dünya tarihine geçmişlerdir. Makinacılıkta da benzer bir durumdan söz edilebilir. Multidisipliner yaklaşımların geliştirilmesi günümüzün karmaşık ve zorlu problemleri karşısında çözümler

üretebilmek için önemlidir. Mekatronik alanı bu ihtiyacın bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Elektroniğe tamamen yabancı bir mekanikçinin ya da mekanik bilgisi olmayan bir elektronikçinin tasarladığı bir sistem; iyi bir mekatronikçinin tasarladığı sistemden bir adım geridedir. Bir sistem tasarlanırken, o sistemin bileşenleri hakkında bilgi sahibi olmanın sistem tasarımını iyi yönde etkileyeceği açıktır. Bu tez kapsamında tasarlanıp imal edilen sistem, genel sistem bilgisi üzerine inşa edilmiş olup, mekatronik bakış açısıyla tasarlanmıştır.

5.4. Sistemin Çalışması

Paslanmaz boruyu iki ekseninde hareket ettiren adım motorları, bunları kontrol eden Arduino ve tüm bileşenlere desteklik eden yapılarıyla sistem çalışmaktadır. Stent imalatında sağlanması gereken steril şartlar bu tez kapsamı dışında olduğundan imalat sırasında bu şartlar dikkate alınmamıştır.

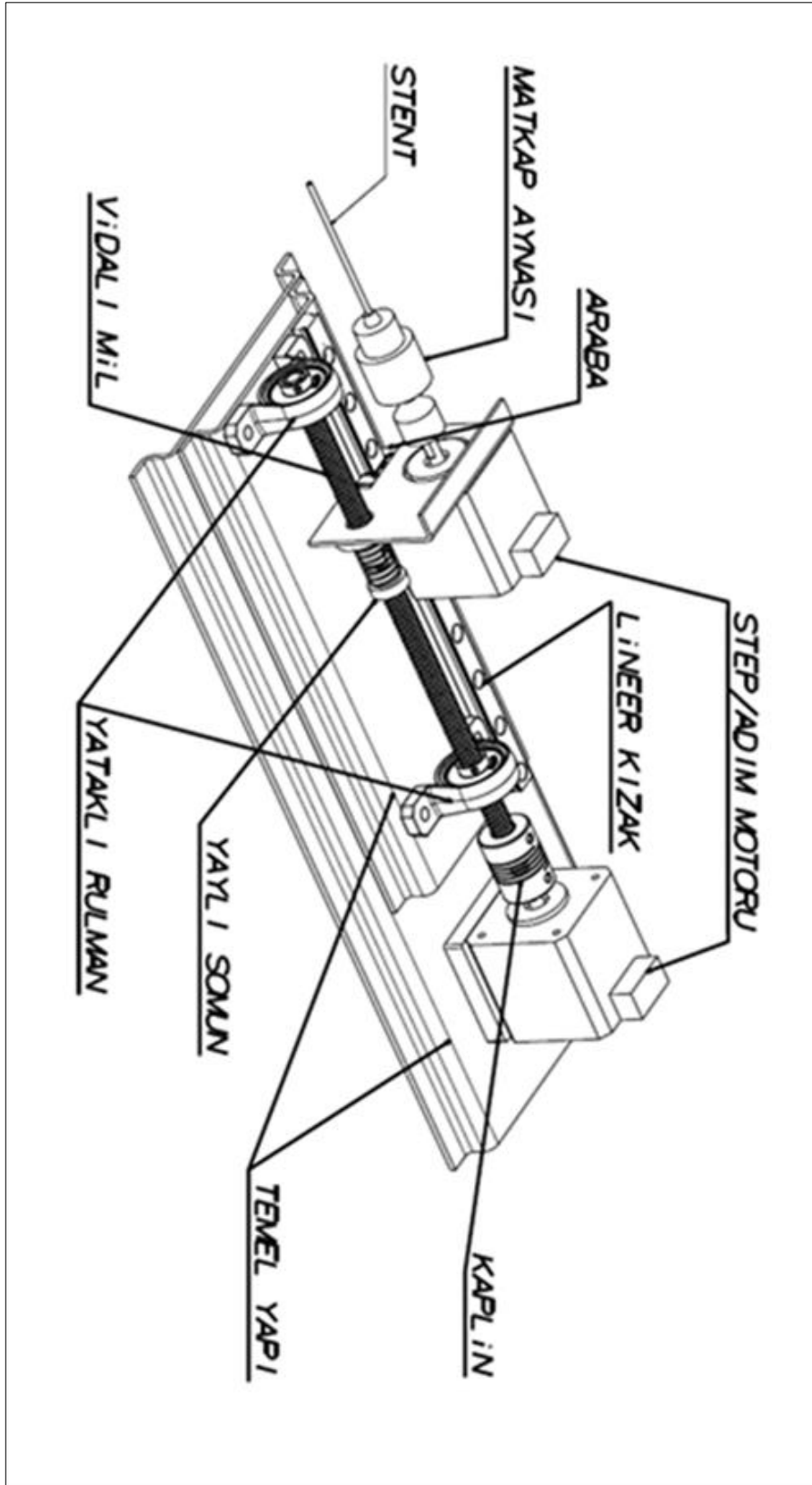
Kontrolcüye yüklenen programın oluşturduğu sinyaller adım motorlarına iletilerek tezgahın hareketleri kontrol edilmektedir. Doğrusal hareket için step motora gönderilen sinyaller kaplin tarafından vidalı mile aktarılmaktadır. Vidalı mildeki dönüş hareketi yaylı somun aracılığıyla doğrusal harekete dönüştürülmektedir. Diğer step motor ise stent ham malzemesi olan paslanmaz tüpü kendi ekseninde etrafında döndürerek tüm yüzeyde kesim yapılabilmesi için gerekli konumlandırmayı sağlamaktadır.

Lazerin kesim yapılması istenen anlarda çalıştırılabilmesi ise lazer kaynağı kontrolcünün gönderdiği aç-kapa sinyaliyle sağlanmaktadır. Kesim yapılması planlanan konumlar için lazer açık tutulmakta, kesim aralarında ise lazer kapalı konumda tutulmaktadır. Tezgahta stent kesimi için kullanılabilecek bir lazer kaynağı olmadığı için sembolik olarak bir diyot lazere aç-kapa komutları gönderilerek gerçek durum simüle edilmiştir.

Doğrusal hareket lineer kızak tarafından yataklanmaktadır. Böylelikle daha kararlı ve tekrar edilebilir hareket elde edilmeye çalışılmıştır. Sistem tüm hareketleri, sac metalden büküm yoluyla elde edilen yapı üzerinde gerçekleştirmektedir.

Sistemin mekanik ve elektronik kısmını oluşturan ana bileşenler temel mekanik yapı ve elektronik kontrol ve yazılım başlıkları altında incelenmiştir.

5.5. Temel Mekanik Yapı



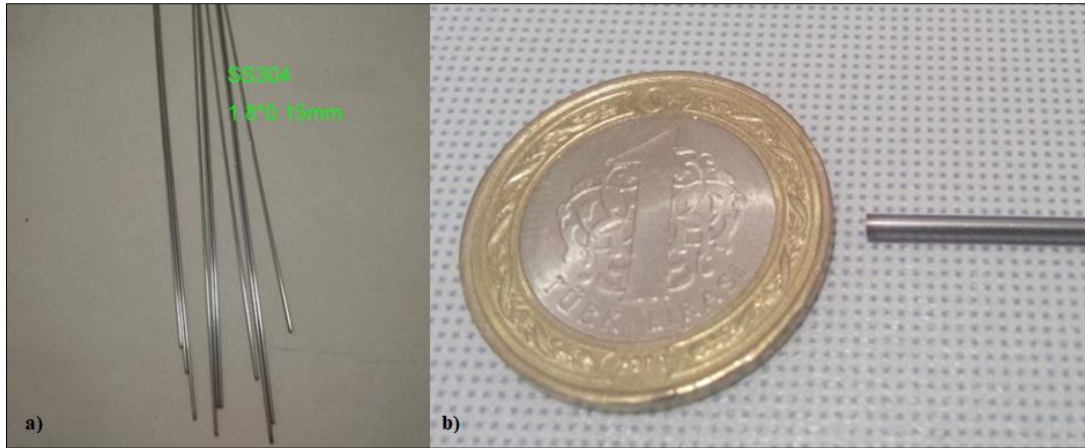
Şekil 5.1. Sistemin ana mekanik bileşenleri

İlk aşamada hareketli düzeneğin üzerine oturacağı temel yapı belirlenmiştir. Kararlarda ekonomiklik ve isterleri sağlayabilecek teknik düzey etkili olmuştur. Hareketli bölümlerin üzerine yerleştirdiği temel yapı sacdan büküm yapılarak üretilmiştir. Bu karar NC işlemeden gelecek ek maliyetleri yüklenmemek için, montajda sorun çıkartmayacak şekilde istenilen yapının sac metalden üretilebileceği öngörüsüyle verilmiştir.

Sac metal yapı, punch tezgahında imal edilmiş ve ardından abkant tezgahında bükülerek istenilen şekil verilmiştir. Motor ekseni ile vidalı mil eksenini eş merkezli bir hale getirmek için şim benzeri ek saclar da kullanılmıştır.

5.5.1. Paslanmaz boru

Bazı stentlerin imalatında iç çapı 1.50 mm dış çapı 1.80 mm olan paslanmaz borular kullanılmaktadır. Ülkemizde istenilen ölçülerde bulunamadığından ve yakın boyutlara sahip olan benzerlerinin ise fiyatları yüksek olduğu için paslanmaz boru Çin'den 20 cm uzunluğunda parçalar şeklinde ithal edilip tezgahta deneme amacıyla kullanılması planlanmıştır. Bunların yanı sıra farklı ölçülerde paslanmaz borularla da denemelerin yapılması planlanmıştır. Boru malzemesi olarak 304 kalite paslanmaz çelik seçilmiştir.



Resim 5.1. Paslanmaz stent hammaddesi / 1 TL ile karşılaştırılması

Bu tip stentlerin üretim süreci şu şekildedir; Öncelikle ham malzemedan istenilen boyutlarda tüp imalatı yapılmaktadır. Bu imalat genelde stent firması tarafından yapılmamakta olup firmalar lazerle kesecekleri tüpleri hazır olarak almaktadırlar. Boru imalatçıları aşağıda sıralanan özelliklerde ürün sunabilmektedir;

- 1- Balon tarafından şişirilen ve ya kendiliğinden genişleyen stentlere göre alarım seçeneği
- 2- Biyouyumluluk ve mikro/makro malzeme homojenliği için çok çeşitli ham madde seçeneği
- 3- İyileştirilmiş yorulma direnci için dikişsiz tp seçeneği
- 4- İyileştirilmiş lazer kesim ve duvar genişliği için dış çap ve duvar kalınlığında iyileştirilmiş ölçüsel doğruluk
- 5- Pürüzsüz i ve dış yüzeyler için optimize edilmiş elektroparlatma ve ardından yapılan kaplama işlemi.
- 6- Kontrol edilebilir fiziksel davranış ve en aza indirilmiş geri büzülme için kontrollü mekanik zellikler
- 7- Yorulma direnci ve elektroparlatma performansını uzlaştırmak için optimize edilmiş tane boyu
- 8- Düzgün lazer kesim için kontrollü doğrusallık
- 9- Güvenilir karakterizasyon ve geliştirilmiş üretim verimi için onaylanmış muayene yöntemleri (en yüksek kalitede ölçüm cihazları, yeterli örneklendirme, istatistiksel analiz)
- 10- Müşterinin (stent imalatçısı) rn kolaylıkla onaylatabilmesi için tam sertifikasyon [18].

5.5.2. Tutucu/matkap aynası

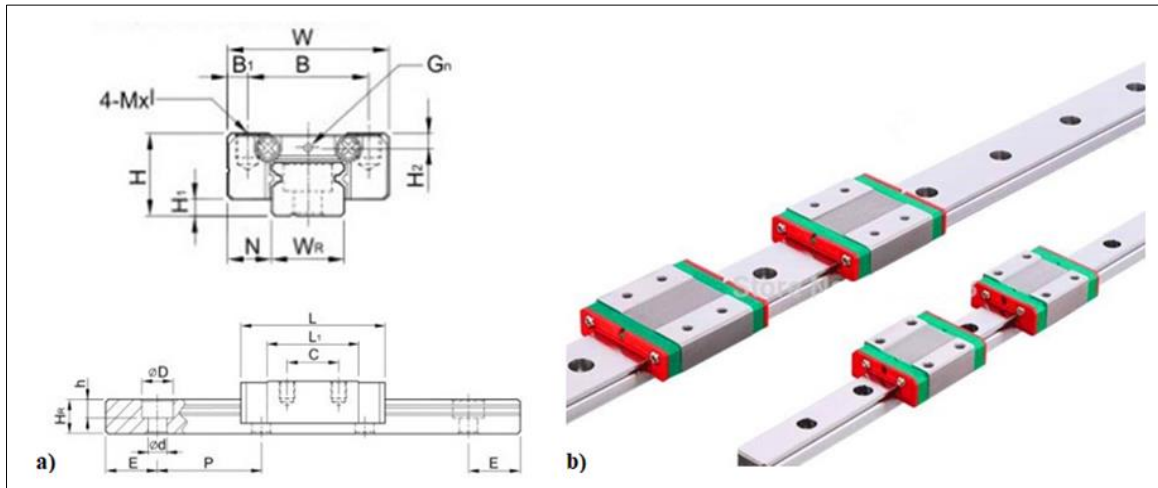
Paslanmaz boruya adım motorundan elde edilen gücü iletme için bir tarafı adım motordan çıkan mile bağlanan diğer taraftan da paslanmaz boruyu kavrayabilecek matkap vb. el aletlerinde kullanılan türde tutucular kullanılmıştır. Bu tutucular aynı zamanda paslanmaz borunun merkezlenmesini sağlamaktadır. Motordan çıkan mil ile paslanmaz borunun eş merkezliliği kesim kalitesi için çok önemlidir. İdeal olarak motor milinin eksenini ile paslanmaz borunun eş-eksenli olduğu kabul edilir. Boru mekanik açıdan önemli yüklere maruz kalmadığı için, takım tutuculardan beklenen sadece hareket sırasında boruyu çok az miktarlarda dahi olsa kaydırmamasıdır. Borunun kayması demek, istenilen formun boruya aktarılamaması demektir. Borunun yapısı gereği içi boş olduğundan, takım tutucu fazla tork ile sıkılıp boru deformasyona uğratılmamalıdır.



Resim 5.2. Paslanmaz boruyu tutan matkap aynası [47]

5.5.3. Lineer/ doğrusal kızak

Hassas bir doğrusal hareket elde etmek için lineer kızaklar/rulmanlar önemli rol oynamaktadır. Uzunluğu 40 mm olan stentlerin imalatını kolaylıkla gerçekleştirebilecek şekilde lineer kızak seçimi yapılmıştır. Bu kızaklar bir torna tezgahında en çok ihtiyaç duyulan x eksenindeki doğrusallık açısından oldukça yararlı bir çözüm sunmaktadır.



Resim 5.3. a) Araba ve kızak kesit resmi b) Doğrusal kızak ve araba [48]

5.5.4. Doğrusal harekete dönüştürücü

İkinci adım motordan elde edilen dönel hareketin doğrusal harekete dönüştürülmesi için bu düzenek kullanılmıştır. İdeal olarak sıfır boşluk hatası (zero backlash) sağlayan dönüştürücüler tercih edilmelidir. Hassaslıkla maliyet doğru orantılı olduğu için daha az hassas bir sistemle çalışılmıştır.

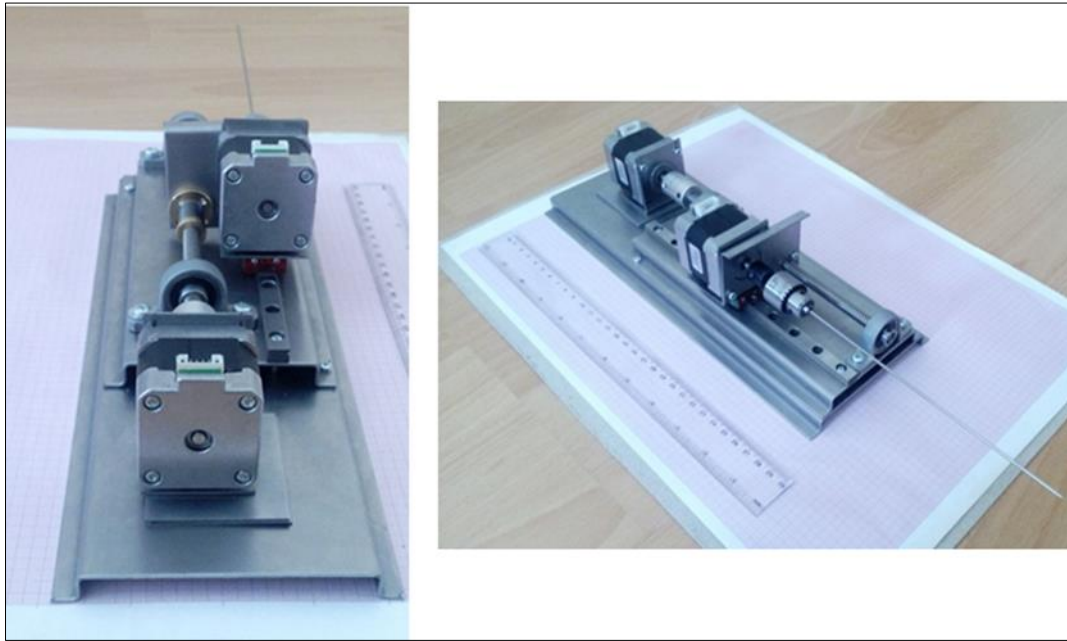


Resim 5.4. Yaylı mil somunu [49]

Hareketli sistemlerde dönel hareketi doğrusal harekete çevirmek istenilen yer değiştirmeyi sağlamak için oldukça önemlidir. Bu tür dönüşümlerde ve aktarımlarda yaşanabilecek sorunlar sistemlerin hassasiyetini önemli ölçüde etkiler. Tahmin edilemeyen her davranış, sistemde belirsizlik demektir. İmkanlar dahilinde belirsizliklerin kaldırılması makinanın tekrar edilebilir hassasiyetine önemli katkılar sağlar. “Somun ve trapez mil”, “yaylı somun ve trapez mil” ve ya “bilyalı somun ve vidalı mil” kullanılabilir. Somun ve trapez mil bu sistemlerden en ucuzu olmasına rağmen boşluk konusundaki sorunlar nedeniyle bu sistemde kullanılamayacak kadar kötü bir tercihtir. Boşluk motorun saat yönünde veya tersinde dönüşleri sırasında motorun döndüğü fakat bu dönüşün pozisyonu değiştirmedeği küçük de olsa bir açı farkıdır. Bu sorunun çözümü için yaylı somun ve trapez vida sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerde yay somunla mil arasındaki boşluğu aldığı için backlash sorunu yaysız sisteme göre çok daha azdır. Bu düzenek için yaylı somunun sağlayacağı iyileştirme yeterli görülmüştür. Fiyat olarak bilyalı somun ve vidalı mil seçeneği diğerlerinden daha yüksektir. Ancak teknik anlamda diğerlerinden üstündür.

5.5.5. Sac levha yapı

Lazerli kesim işleminde fiziksel temas ihmal edilebilir düzeyde olduğu için mekanizmayı üzerinde taşıyan yapının yüksek kuvvetlere maruz kalmadığı bilinmektedir. Bu yüzden punchta kesilmiş sac levhadan büküm yoluyla genel yapı imal edilmiştir. Buradaki önemli nokta paslanmaz boruya yataklık eden iki ucun eş merkezliliğinin sağlanması ve motorların hareketi sırasında oluşabilecek titreşimlerin kesimi etkilemeyecek düzeye indirilmesidir.



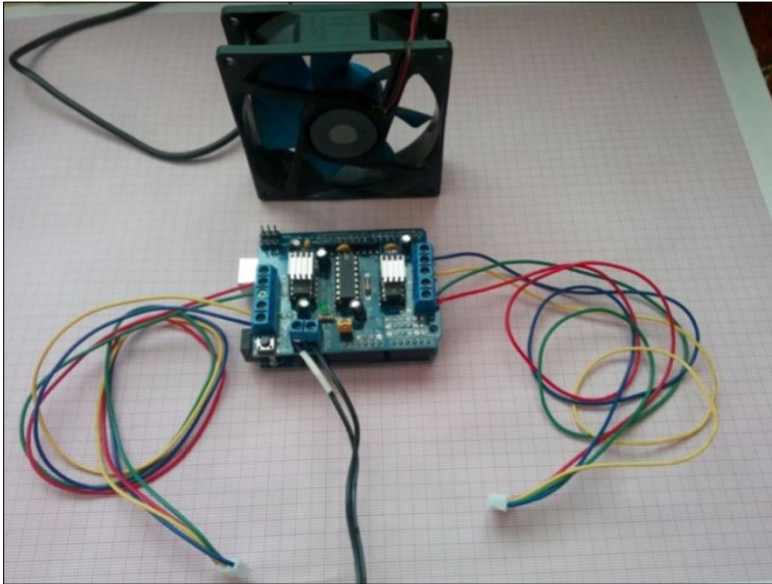
Resim 5.5. İki farklı açıdan sac metal yapı

5.6. Elektronik Kontrol ve Yazılım

5.6.1. Kontrolcü

Düzenekte kontrolcü olarak Arduino Uno kullanılmıştır. Arduino DIY (Do It Yourself/Kendin Yap) kültürünü besleyen, çok düşük maliyetlerle otomasyon imkanı sağlayan, kullanımı ve programlaması kolay bir kontrolcüdür. Açık kaynak kodlu olması, internet ortamında birçok forum ve websitesinde binlerce örnek kod bulunabilmesini sağlamaktadır. Piyasada birçok kontrolcü bulunmasına rağmen en çok kullanıcıya sahip olan kontrolcü Arduino'dur. Dolayısıyla hakkında en çok paylaşım bulunan kontrolcü de Arduino'dur. Hem ekonomik olması, hem de tez kapsamında gerçekleştirilen sistemin

isterlerini yerine getirebilecek kapasiteye sahip olması bu kartın seçilmesindeki en önemli etmenlerdir. Arduino, öğrenmesi oldukça zor olan programlama dillerini ve elektronik ekipmanları bir kenara bırakarak, mühendis hatta teknik eleman bile olmayan, aklındaki fikirleri hayata geçirmek isteyen herkesin kullanabileceği sadelikte bir kontrolcüdür. Programlama dillerine hakimiyet ve elektronik ekipmanlarla ilgili derinlemesine bilgi sahibi olmak Arduino'yu çok daha etkin kullanmak için oldukça faydalıdır ancak bir zorunluluk değildir. Arduino'nun sadeliği, Raspberry karşısında çok daha düşük gözüken sayısal değerlerini bir avantaj haline dönüştürmektedir. Arduino, Raspberry ve Mach3 birbirlerinden farklı amaçlara hizmet etmeleri için tasarlanmış kartlar olmalarına rağmen, bazı durumlarda birbirleri yerine de kullanılabilir durumdadırlar. Mach3'ün seçilmemesinin sebebi ise maliyettir. Sadece kart fiyatı düşünüldüğünde bile Mach3'ün, Arduino'dan onlarca kat daha pahalıdır. Buna ek olarak Mach3 ile ilgili kaynaklar oldukça kısıtlıdır. Özellikle CNC makinelerde kontrolcü olarak kullanılan Mach3, böyle bir prototipleme çalışması için fazlasıyla gelişmiştir. Sonuç olarak kontrol tarafında Arduino Uno ve step motorların sürülebilmesi için ise L293D sürücüler kullanılmıştır. Arduino açık kaynak kodlu bir sistem olduğu ve klon kartlarla ilgili telif hakkı talep etmediği için, tez kapsamında orijinal Arduino yerine, Çin menşeli klon Arduino Uno kartı kullanılmıştır. Fiyat olarak da yaklaşık olarak orijinal Arduino'nun altıda biridir.

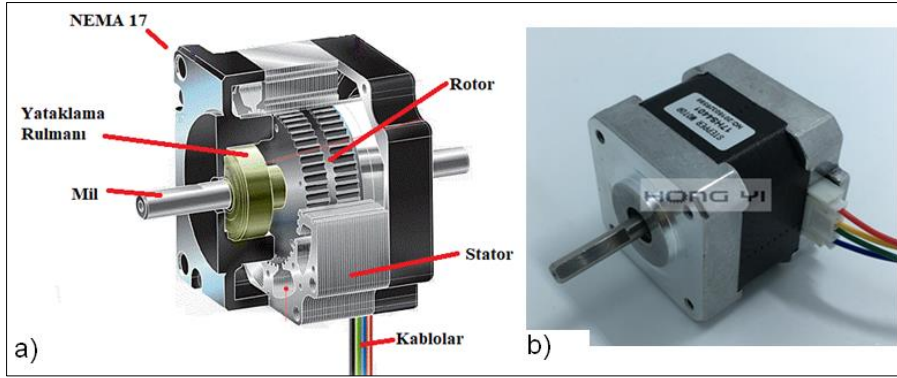


Resim 5.6. Sistemden kullanılan Arduino kart, motorlar için sürücü ve fan

5.6.2. Tahrik elemanı

Kontrolcü tarafından üretilen komutların, tahrik elemanlarının anlayacağı dile sürücüler aracılığıyla çevrilmesi sonucunda, kontrolcüye yüklenen program fiziksel olarak harekete dönüşür. Tezgahlarda kontrolcü ve sürücülerin ardından tahrik elemanlarının da hatasız çalışması beklenir. Uygulama alanına göre en uygun tahrik elemanının seçilmesi, en az yazılım kadar önemlidir. Kontrolcüyü teknik direktöre benzetilirse, tahrik elemanları da sahada top koşturan futbolculara benzetebilir. Teknik direktör ne kadar iyi taktik verirse versin, nihayetinde sahaya yansıyan oyun oyuncuların kapasitesiyle sınırlıdır. Dolayısıyla aktüatörlerin kapasiteleri de tezgahın performans değerleri için belirleyicidir. Bu çalışma için boşlukları mümkün olduğunca aşağı çekebilecek, tekrar edilebilirliği yüksek, ekonomik bir tahrik elemanı tercihi yapılmak istenmiştir. Step motorlar/adım motorları ve servo motorlar bu tür uygulamalarda en çok kullanılan iki tür motordur. Bunlara ek olarak daha az kullanılan lineer aktüatörleri de sayabiliriz. Tezgahta step motor ve vidalı mil ile yapılan işlemi, lineer motor tek başına yapabilir. Ancak lineer motorların step motorlara göre pahalı olması lineer motor yerine step motoru tercihi yapılmasına sebep olmuştur. Görece yüksek fiyatlı ürünlere uygulanan gümrük işlemleri maliyetleri artırdığı için gümrükten geçerken sorun yaşanılabilecek malzemelerin tedarikinden kaçınılmıştır. Step motor ile servo motor ayırımına baktığımız zaman ise step motorun servo motor ve DC motorun güçlü yanlarını birleştirdiğini, DC motorlardaki pozisyon belirsizliğine sahip olmadığını ve servo motorlar gibi sadece 180 derecelik bir dönme kabiliyeti değil, ister açılı ister sürekli dönme imkanlarını sağladığını görebiliriz. Sonuç olarak servo ve basit DC motorlar daha ucuz olmalarına rağmen, ihtiyaç duyulan hareketleri sağlayamadıkları için step motorlar tercih edilmiştir [50].

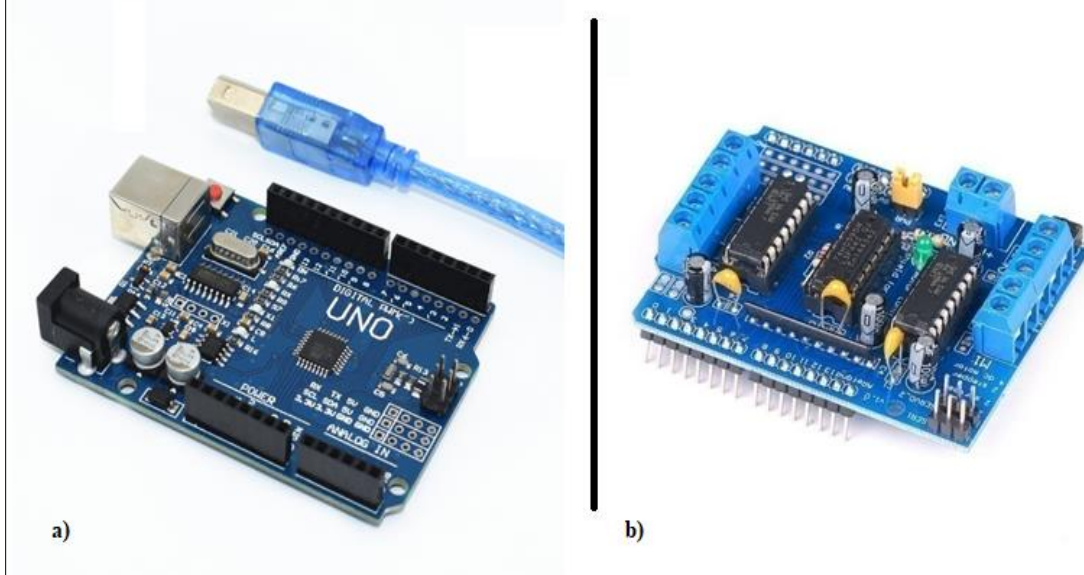
Adım motorlar yüksek derecede açısal hakimiyet sağlayan motorlardır. Sistemde kullanılan motorlar 360 derecelik tam bir dönüşü 200 adımda gerçekleştirmektedir. Böylelikle istenilen şekiller mini boru üzerinde oluşturulabilmektedir. Daha hassas imalatlar için 360 derecelik bir tam dönüşü daha fazla adımda gerçekleştiren adım motorları kullanılabilir.



Resim 5.7. a) Step motorun genel yapısı b) Sistemde kullanılan step motor [51]

5.6.3. Arduino

Torna tezgahında motorların hareketlerini kontrol etmek amacıyla Arduino kullanılmıştır. Hem açık kodlu olması hem de uygun fiyatıyla Arduino bu tarz uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Arduino ile uyum halinde çalışabilen eklentiler yardımıyla iki motor kontrol edilebilmiş ve istenilen hareket bu iki motorun çalışması ile elde edilebilmiştir.



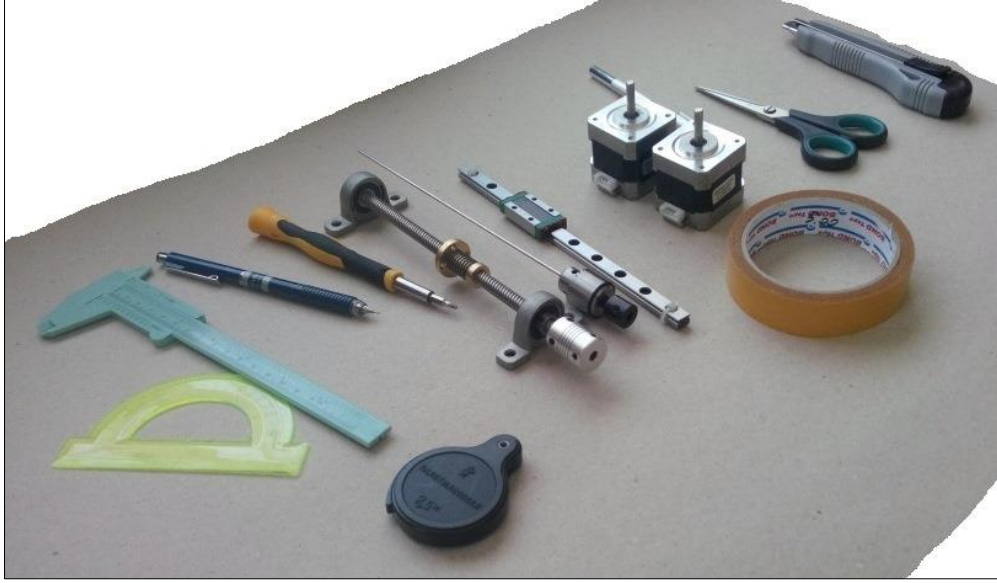
Resim 5.8. a) Arduino kart b) Step motorlar için sürücü kalkan (shield)

6. SİSTEMİN İMALATI

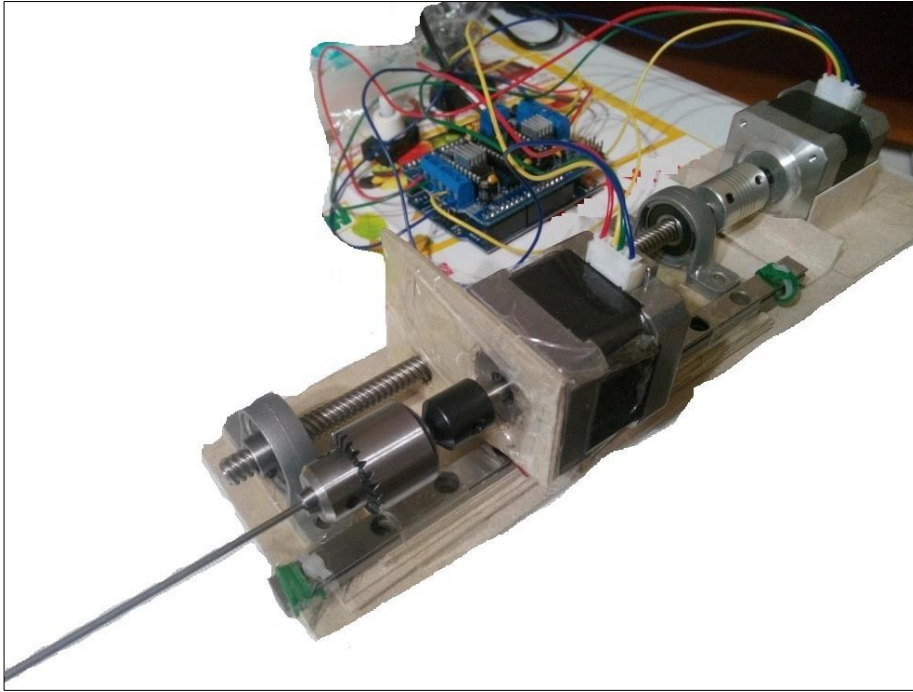
İmalat detay tasarımının sonunda elde edilen net bilgiler üzerine gerçekleştirilir. Detay tasarımı tamamlanmamış sistemleri imal etmeye başlamak risklidir. Tasarımın ilerleyen süreçlerinde ortaya çıkabilecek sorunlar tasarımın bitti sanılan diğer kısımlarının da değiştirilmesini gerektirebilir. Modüler sistemler ve eş zamanlı imalat yaklaşımları dışında imalat, detay tasarım tamamlanmadan başlamamalıdır. Fakat imalat sırasında ihtiyaç duyulacak malzemeler detay tasarım tam anlamıyla bitirilmeden temin edilebilir ve bu hazır oluş imalatın daha hızlı ilerlemesini sağlar. Özellikle temininde güçlük çekilen, yurt içi imkanlarıyla ulaşılamayan, özel imalat yöntemleriyle elde edilebilen ürünlerin tedariki oldukça önemlidir. Bazı durumlarda ilk başta çok önemsiz olarak görülen bir malzeme için, imalat tamamlanamayabilir, planlanan terminler haftalar, aylar boyunca gecikebilir.

6.1. Deneme Çalışmaları

Devre şeması ve mekanik yapı belirlendikten sonra, sistemin beklendiği gibi çalışıp çalışmadığını görebilmek ve olası sorunları tespit edebilmek için bir kısmı düzenekte kullanılacak asıl parçalardan, diğer kısmı ise geçici olarak mukavva, bant vb. malzemelerden oluşan mock-up imal edilmiştir. Mock-up çalıştırılıp hareketler gözlemlenmiştir. Özellikle kontrol kartındaki aşırı ısınma sorunu dikkat çekmiştir. Bunun üzerine, sisteme kartı soğutacak şekilde bir fan ilavesi yapılmıştır. Step motorun bağlantılarında ise, deneme yanılma yoluyla doğru bağlantı şekli bulunabilmiştir. Bu duruma kablo renklerinin standart olmaması ve satın alınan step motorların kullanma kılavuzlarındaki eksiklikler sebep olmuştur.



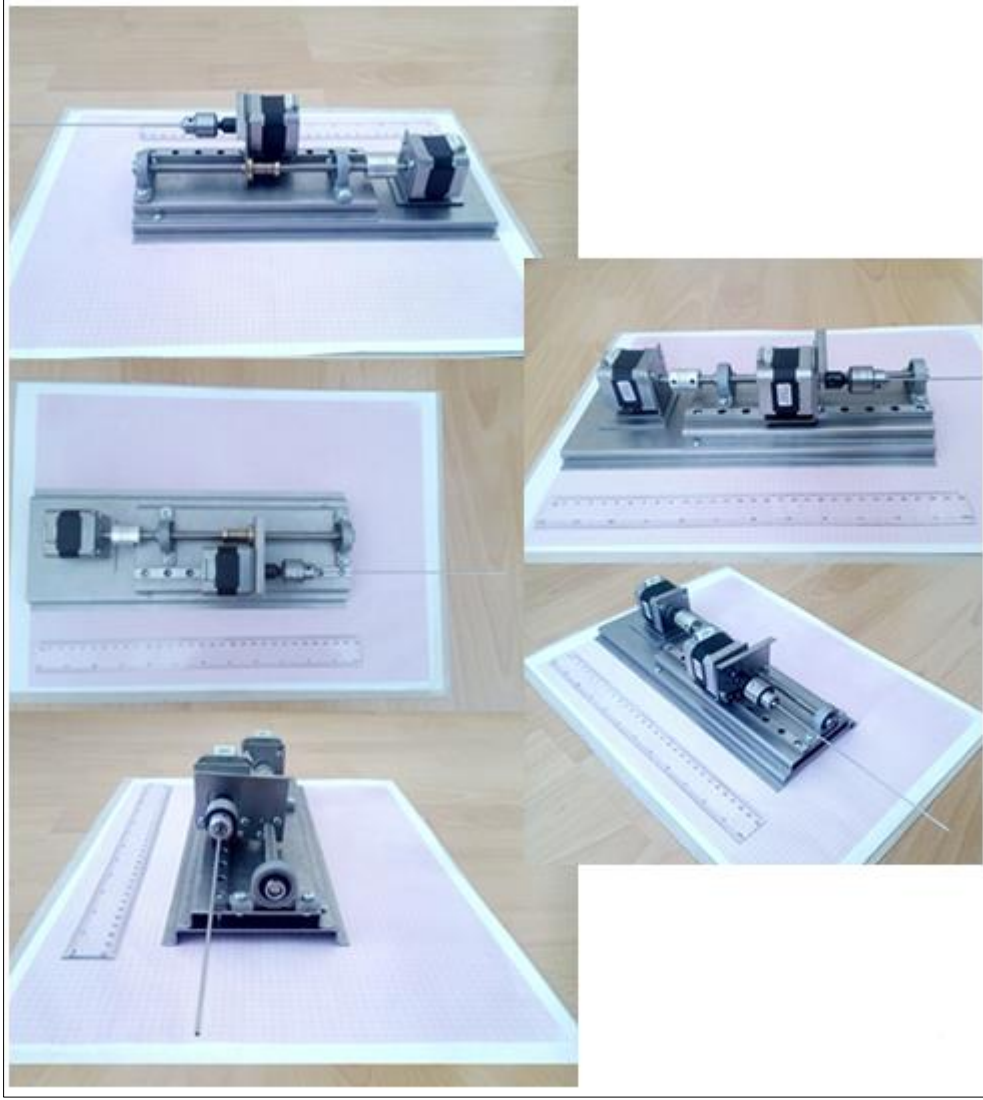
Resim 6.1. Mock-up çalışmasında kullanılan malzemeler



Resim 6.2. Mock-up çalışması sonucu ortaya çıkan çalışır durumdaki prototip

6.2. İmalat

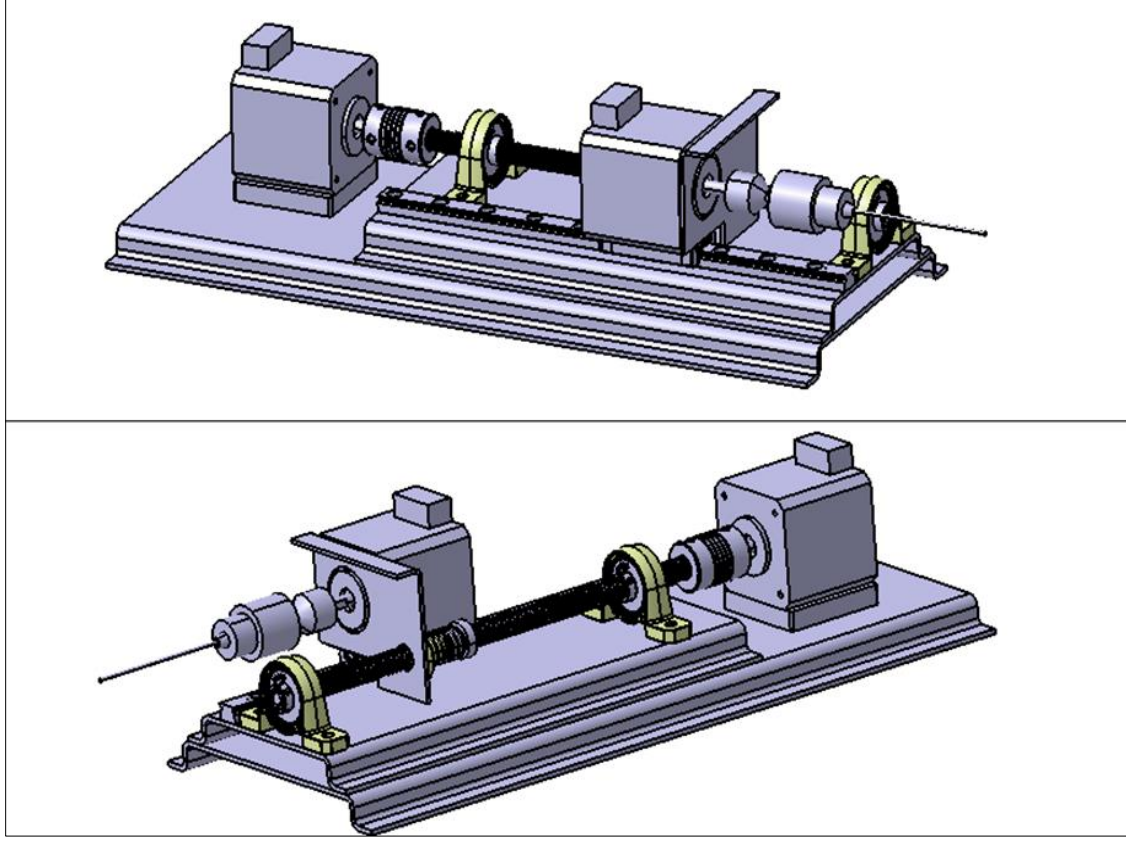
İmalat sürecinde, temel yapının abkant bükümle elde edilmesi dışında profesyonel bir destek alınmamıştır. Tüm imalat işleri, ev ortamında ve her evde bulunabilecek ekipmanlarla gerçekleştirilmiştir. Bileşenlerin büyük çoğunluğu standart ölçülerde ve seri üretim parçalar oldukları için özel üretim ihtiyacı duyulmamıştır. Bu noktada günümüzde gelişmekte olan maker hareketiyle, üretimin değişimi konusunu vurgulamak faydalı olacaktır. “DIY / Do it yourself / kendin yap” konsepti her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Bu gelişmelerin gerekçeleri olarak farklı tezler öne sürülebilir olsa da sonuç olarak mevcut durumda insanlar evlerinde, bahçelerinde, garajlarında kendi kendilerine hayal ettikleri, tasarladıkları ve ya hazır olarak gördükleri bir ürünün kopyası olmak üzere üretimler yapıyorlar. Bu yaklaşım, sadece kişilerin bireysel çalışmaları olmakla kalmayıp, aynı zamanda gerek sanal ortamdaki sosyal medya ve forumlar aracılığıyla, gerekse de farklı oluşumlar tarafından organize edilen fuarlar ve etkinlikler yardımıyla yaygınlaşmaktadır. Bu tez çalışmasında da “maker” hareketinin ana felsefesi olan “kendin yap” yolu seçilmiştir. Microsoft ve Apple gibi dünya devi olmayı başaramamış bir çok firmanın garajlardan çıktığı göz önüne alındığında, bu tür çabaların değeri daha kolay anlaşılabilecektir.



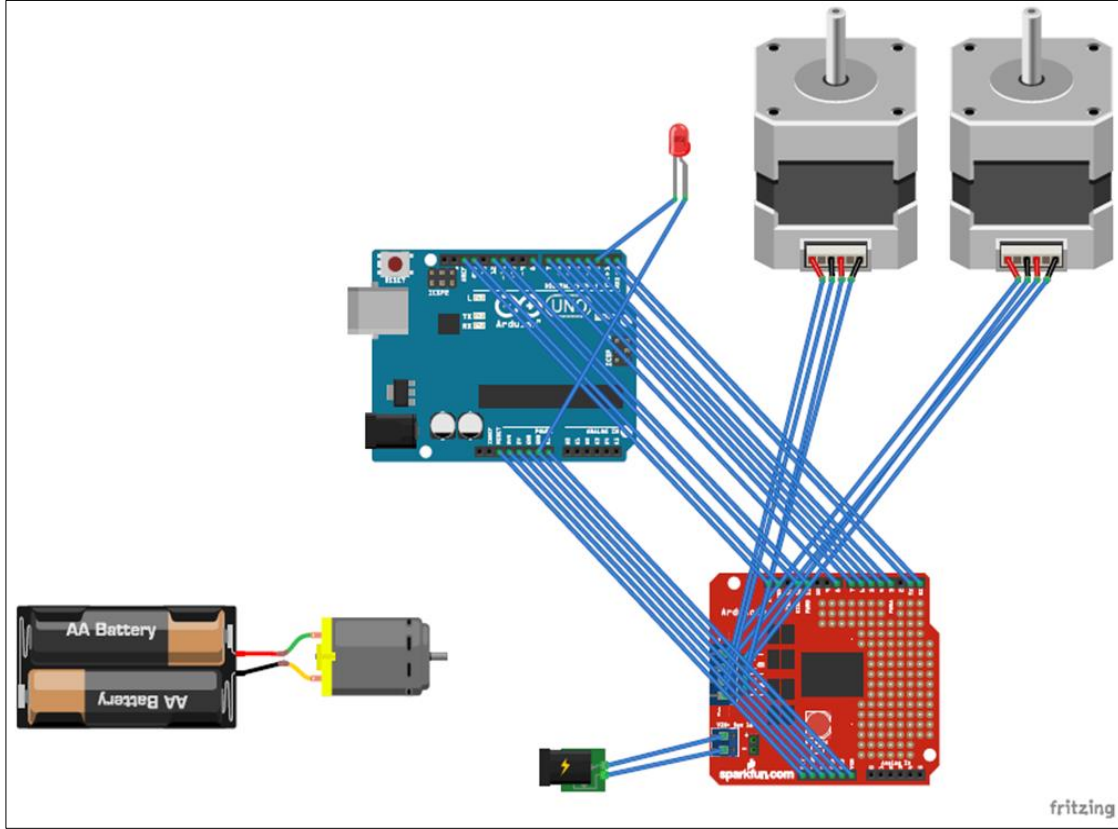
Resim 6.3. Çeşitli açılardan üretilen sistemin görüntüleri

İmalat aşamasına yapılan denemelerden sonra geçilmiştir. İmalat/montaj sırasında abkant operasyonu dışında profesyonel bir destek alınmamıştır. Sac yapı matkap ile delinerek montaj için delikler oluşturulmuştur. El ile delindiği için konumların hassasiyeti açısından sorun yaşansa da delikler civataların çaplarından biraz daha geniş delindiği için daha sonradan konumlandırma ile ilgili ayarlar yapılabilmektedir. Hareket esnasında yaşanan kasıntılar, konumlarda sorun olduğunun en açık göstergesi olduğundan bu verilerden faydalanılarak el ile yapılan işlemlerin olası hataları elimine edilmiştir. Kaplinler esnek olduğu için belli oranda adım motorunun mili ile vidalı mil arasındaki eş eksenlilik hataları telafi edebilmiştir. Rulman yatakları ise el ile ayarlanmıştır.

Sonuç olarak hareket gözlemlenerek hatalar giderilmiş ve tezgahın doğru bir şekilde çalışmasını sağlayacak ayarlamalar yapılmıştır.



Resim 6.4. Sistemin CAD ortamında çizilmiş modeli



Şekil 6.1. Sistemin bağlantı şeması (Fritzing)

Şekil 6.1’de görüleceği üzere iki adım motoru, motor sürücüsüne bağlanmıştır. Motor sürücüsü de Arduino tarafından kontrol edilmektedir. Fan, elektrik motoru şeklinde temsil edilmiş olup ısınan kartların yanmaması için ihtiyaç duyulan soğutmayı gerçekleştirmektedir. Kırmızı diyot led ise lazer kaynağını simgelemektedir.

7. ÖLÇÜMLER

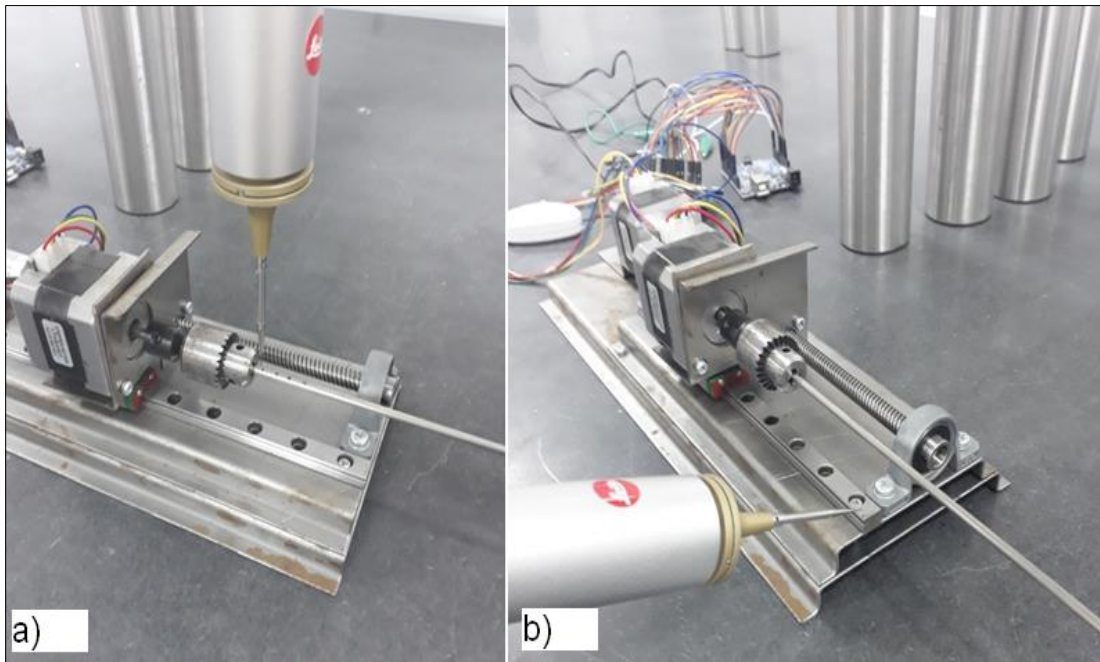
Gelişen teknolojiyle beraber, ölçüm yöntemleri de çeşitlenmiş ve hassaslaşmıştır. Adım, karış, arşın vb. öznel ölçülerden, mikrometre altı hassas ölçümlere inilebilmiştir. Hassas ölçüm teknikleri, hassas işleme teknolojisi için ihtiyaç duyulan ölçümlerin yapılabilmesini sağlamıştır. Hassas işleme teknolojisi geliştikçe de hassas ölçüm teknikleri ilerlemiştir. Dolayısıyla daha iyi ölçüm, daha hassas işlemeyi; daha hassas işleme de daha iyi ölçümü beraberinde getirmiştir. Parçanın kullanım ya da montaj yerindeki durumuna göre belirlenen toleranslara uyumunun kontrol edilmesi amacıyla CMM tezgahları geliştirilmiştir ve günümüzde kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Tez kapsamında üretilen mini torna tezgahının, hem yapısal ölçüleri hem de konumsal tekrar edebilirliğiyle ilgili olarak CMM tezgahında ölçümler gerçekleştirilmiştir.



Resim 7.1. Ölçümlerin yapıldığı CMM tezgahı

7.1. Tezgahın Yapısal Ölçüleri

Tezgahta stentin doğru ölçülerde işlenebilmesi için önemli olan bir takım özellikler bulunmaktadır. Doğrusal kızak yüzeyleri ile stent ekseninin paralelliği ve sac metal yapının tabana göre düzlemselliği bu önemli ilişkilerden öne çıkan ikisidir. Bu ölçümlerin yapılabilmesi için stent üzerine ve yapısal parçaların yüzeylerinden probe ile çeşitli ölçümler alınmış olup CMM programı yardımıyla düzlemsellik ve eksenlerin paralelliği incelenmiştir. Yapılan ölçümlerde iki bükümlü sacın birbirlerine göre düzlemselliğinin 0.056 mm olduğu tespit edilmiştir. Stent ile doğrusal kızığın paralelliği ise 0,109 mm olarak ölçülmüştür. Ev şartlarında monte edilen bir sistem için bu değerler oldukça iyi olmakla beraber ticari uygulamalar için bu değerlerin çeşitli kalibrasyon çalışmalarının ardından daha dar toleranslara çekilmesi mümkündür. Ölçülen değerler herhangi bir işleme, tesviye veya kalibrasyon yapılmadan ortaya çıkan sonuçlardır.

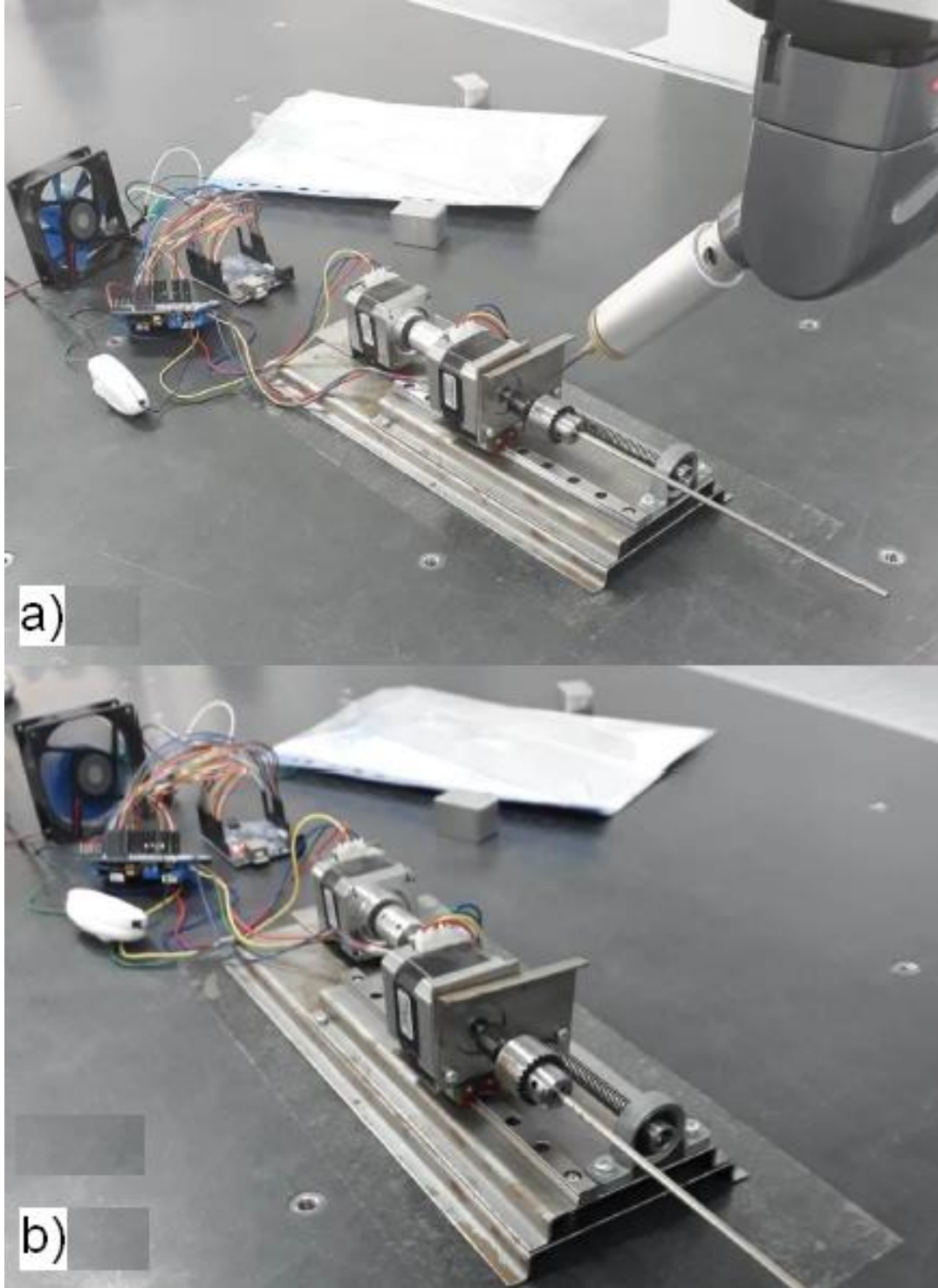


Resim 7.2. a) Stent üzerine probe dokunuşu b) Kızak üzerine probe dokunuşu

7.2. Tekrar Edebilirlik Ölçüleri

Malzeme işleme tezgahları dinamik yapılardır. Hareket beraberinde hataları da getirir. Gerek kontrolcünün stabil komutlar gönderememesi, mekanik yapının kontrolcünün ilettiği komutları stabil olarak gerçekleştirebilecek kararlılıkta olmaması, gerekse de çevresel etkiler (sıcaklık, titreşim vs.) aynı komutların tezgahlarda aynı dinamik etkiyi

oluşturmasına engel olabilir. Bu durum aynı programla üretilen parçaların farklı ölçülerde üretilmesi anlamına gelmektedir. Birebir aynı ölçülerde üretim yapmak pratik olarak mümkün olmasa da bu farklılığın ihtiyaçlara göre belirlenen kabul edilebilir toleranslar içinde tutulabilmesi teknik ekiplerin başlıca hedeflerindendir.



Resim 7.3. a) Hareket öncesinde probe dokunuşu b) CMM’de düzeneğin çalıştırılması

Yapılan tekrar edilebilirlik ölçümlerinde ilk stent üretim çevrimde 4,343 mm, ikinci çevrimde 4,322 mm ve üçüncü ölçümde ise 4,364 mm'lik kızak ekseninde doğrusal hareket tespit edilmiştir. Aynı komut sonucunda doğrusal hareket incelendiğinde tezgahta $\pm 0,02$ mm'lik hata olduğu gözlemlenmiştir. Bu ölçü de herhangi bir kalibrasyon yapılmadan alınmış ölçüdür. $\pm 20\mu\text{m}$ 'lik tolerans ev şartlarında monte edilen bir sistem için çok iyi olsa da ticari stent işleme tezgahlarındaki $\pm 1,0\mu\text{m}$ 'lik tekrar edilebilirliğe göre oldukça kötüdür [29]. Sistem üzerinde yapılacak kalibrasyon çalışmalarıyla tekrar edilebilirlik hassaslaştırılabilir ancak yine de mevcut sistemde $\pm 1,0\mu\text{m}$ 'lik bir aralığa inmek mümkün gözükmemektedir. Mevcut ekipmanlarla mümkün olmasa da hem mekanik yapıda hem de kontrolcü ve elektronik ekipmanlarda yapılabilecek değişiklik ve iyileştirmelerle $\pm 1,0\mu\text{m}$ 'lik toleranslara inilebilir.

8. SONUÇ

Stentlerle ilgili olarak yapılmış çalışmalarda, konu çok farklı açılardan ele alınmış ve ciddi bir bilgi birikimi oluşmuştur. Ancak literatür taraması sırasında stent işleme makinelerinin tasarımı ve imalatıyla ilgili bütüncül bir yaklaşım sergileyen bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Bu alandaki boşluğu doldurmak üzere başlanılan bu tez çalışmasında, ekonomiklik ön planda tutularak, mümkün olan en verimli tasarım ve üretimin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın başında, imal edilen tezgahta deneme kesimlerinin yapılması öngörülse de femtosaniye lazeri kullanma imkanı sağlanamamıştır. Daha sonraki çalışmalarda bu tezgah kullanılarak yapılan kesim işlemiyle ilgili deneylere ve bu deneylerin sonuçlarına yer verilmesi bilgi birikimi açısından faydalı olacaktır. Tez boyunca “kendin yap” konseptine uygun olarak, mümkün olduğunca (sac kesim ve abkant büküm hariç) profesyonel ve ücret karşılığı bir hizmet alınmamış olup, neredeyse tüm süreçler tarafımızca gerçekleştirilmiştir. Bu durum konuyla ilgili sorunlarla baş etme zorunluluğu ortaya çıkartmıştır.

Gelecek çalışmalar açısından, mevcudiyetin sağlandığı düşünülürse artık mükemmellikle ilgili çalışmalara geçiş yapılması gerektiği söylenebilir. İleriki çalışmalarda, sistemin hassasiyeti, ticari sistemlere göre durumu, gerçek şartlarda çalışma performansı değerlendirilebilir ve iyileştirmeler yapılabilir.

Tez boyunca gelişmekte olan ülkeler için örnek bir model geliştirilmeye çalışılmıştır. Düşük maliyetli Ar-Ge ancak literatür taraması, kavramsal tasarımı, detay tasarımı, imalat planları ve satın alma stratejileri optimize edilmiş bir düzen içerisinde gerçekleştirilebilir. Stent gibi şu anda da, yakın gelecekte de önemli bir ticari hacme sahip olacağı öngörülebilecek bir alana daha ciddiyetle eğilmek ve bu pazarda önemli bir yer edinebilmek için akademik çalışmaların nitelikçe artırılması gerekmektedir. Uzun vadede teknik ilerleme, diğer teknik ilerlemeleri tetikleyecektir ve her alanda gelişmek için tüm şartlar olgunlaşmış olacaktır.

Sonuç olarak, medikal hem insanlığa faydası açısından güzel bir sektör hem de çalışılan konuların yüksek teknolojik seviyesi yönünden de dikkatle üzerinde durulması gereken bir alandır. Ölümün ve savaşın değil, hayatın ve barışın hakim olduğu bir dünya için sağlık sektörü önemli fırsatlar sunmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Momma, C., Knop, U., Nolte, S. (1999). Laser cutting of slotted tube coronary stents - state-of-the-art and future developments, *Progress in Biomedical Research*, 39-44.
2. Golubovic, E. (2011). *Design and realization of laser micromachining system*, Unpublished Master's Thesis, Sabancı University Graduate School of Engineering and Natural Sciences, İstanbul, 39-40.
3. Şabanovic, A., Akşit, M. F. (2011). *Lazer işleme donanımlı mikrosistem iş istasyonu*, TÜBİTAK No. 108M520. 152-154.
4. Hetrick, K. (2009). Laser processing in stent production, *Today's Medical Developments*, 37 (4), 1-4.
5. Kovalenko, V., Anyakin, M., Zhuk, R., Kondrashev, P., Stepura, O., Meijer, J. (2010). Some results of studying laser micromachining at medical stents manufacturing, *International Journal of Nanomanufacturing*, 6 (1), 253-263.
6. Schaeffer, R. N. (2012). *Fundamentals of Laser Micromachining*, USA: CRC Press, 136.
7. Çavdar, K., Tanrısever, T. (2013). Farklı malzemelerin lazerle kesilmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18 (2), 80-87.
8. Muhammad, N. (2012). *Laser micromachining of coronary stents for medical applications*, Unpublished Doctoral Dissertation. University of Manchester Faculty of Engineering and Physical Sciences, Manchester, 81-90.
9. Chen, K., Yao, Y. L. (2000). Process optimisation in pulsed laser micromachining with applications in medical device manufacturing, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 16, 243-249.
10. Öncel, L. (2009). *316L çelik esaslı implantların çeşitli kesilme yöntemleri ile kesilmesinin ve kesim sonrası tavlama işlemlerinin mikroyapısal karakterizasyonu*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 15-28.
11. Serruys, P. W., Rensing, B. (2002). *Handbook of Coronary Stents*, London: Martin Dunitz Ltd, 175-178.
12. Ak, E. (2010). *Stress and deformation analysis in stents*, Unpublished Master's Thesis. Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, İstanbul, 105-122.
13. Eshghi, N., Hojjati, M. H., Imani, M., Goudarzi, A. M. (2011). Finite element analysis of mechanical behaviors of coronary stent, *Procedia Engineering*, 10, 3056-3061.
14. Martin, D., Boyle, F. (2013). Finite element analysis of balloon-expandable coronary stents: Influence of stent and vessel deformation, *International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering*, 29 (11), 1161-1175.

15. Arslan, E. (2005). *Stent imalatı ve plazma nitrülenmiş stent ve malzemesinin mekanik ve korozyon özelliklerinin incelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 67-69.
16. Hermawan, H. (2012). *Biodegradable Metals from Concept to Applications*, Germany: Springer, 59-67.
17. Poncin, P., Proft, J. (2003, September). *Stent tubing: understanding the desired attribute*. Paper presented at the Materials and Processes for Medical Devices Conference, California.
18. İnternet: Minitubes Firma Ürün Bilgileri URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.minitubes.com%2Fproducts-custom-tubing%2F%3Flang%3Den&date=2019-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2019
19. Karaman, U. (2014). *Koroner stent üretiminde kullanılan 316 LVM paslanmaz çeliğin tavlama özelliklerinin geliştirilmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 36.
20. Sigwart, U., Frank, G. I. (1992). *Coronary Stents*, Berlin: Springer, 169-176.
21. Türk Standardları Enstitüsü. (2013). *TS EN ISO 25539-2 Kalp ve vasküler implantlar-Bölüm 2: Vasküler stentler*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü, 1-8.
22. İnternet: Palmaz-Schatz Stent Resmi URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.nanodic.com%2FPicturePreview.php%3Fch%3Dnanofabrication%26term%3DMicromachining%26g%3D5%26type%3Djpg&date=2019-05-02>, Son Erişim Tarihi: 02.05.2019
23. İnternet: TÜBİTAK Proje Çağrısı URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.tubitak.gov.tr%2Ftr%2Fdestekler%2Fakademik%2Fulusal-destek-programlari%2Fcagri-1003-mikro-isleme-teknolojilerinin-gelistirilmesi&date=2019-04-28>, Son Erişim Tarihi: 28.04.2019.
24. Huo, D., Cheng, K. and Wardle, F. (2010). Design of a five-axis ultra-precision micro-milling machine, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47, 867-877.
25. İnternet: Rofin Firma Bilgisi URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.rofin.com%2Fen%2Fapplications%2Flaser-cutting%2Fstainless-steel%2F&date=2019-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2019.
26. İnternet: Amada Miyachi Firma Bilgisi URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.amadamiyachi.com%2Fproducts%2Fsystems%2Flaser-cutting-systems&date=2019-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2019.
27. İnternet: Narola Firma Bilgisi URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.narolamachines.com%2Fstentbeat%2F&date=2019-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2019.

28. İnternet: Rofin Starcut Tezgah Tanıtım URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.rofin.com%2Fen%2Fproducts%2Fsystems-and-solutions%2Flaser-cutting-systems%2Flaser-cutting-machines-starcut-tube%2F&date=2019-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2019.
29. İnternet: Vasculathe Tezgah Bilgisi URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.aerotech.com%2Fproduct-catalog%2Findustry-solutions%2Fmedical%2Fvasculathe%25C2%25AE-asr-and-vasculathe%25C2%25AE-ac.aspx&date=2019-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2019.
30. İnternet: Stent Uygulama Resmi URL:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fcentralgaheart.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2016%2F09%2Fstent_e4fae2f759cb4e7b7083fc3ee9506fb4.jpg&date=2019-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2019.
31. Simard, T., Hibbert, B., Ramirez, F. D., Chen, Y. and O'brien, E. (2014). The Evolution of Coronary Stents: A Brief Review, *Canadian Journal of Cardiology*, 30, 35-45.
32. Kalra, A., Rehman, H., Khera, S., Thyagarajan, B., Bhatt, D. L., Kleiman, N. S. and Yeh, R. W. (2017). New-generation coronary stents: current data and future directions, *Current Atherosclerosis Reports*. USA. 2-7.
33. İnternet: Laserağ Stent Tarihçesi URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Flaserprocessing.laserage.com%2Fevolution-of-medical-stents-ebook&date=2019-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2019.
34. İnternet: Palmaz-Schatz Tipi Stent Resmi URL:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww-2.unipv.it%2Fcompmech%2Fcofin_02%2Fsummary_stent_file%2Fimage004.jpg&date=2019-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2019.
35. Billings, C.W., Tabak, J. (2011). *Lazerler; İşlenmiş Işığın Teknolojisi ve Kullanımı* (Çev. Gürsel Tanrıöver) (Birinci Baskı), Ankara: TÜBİTAK Yayınları, 25-39.
36. Garcia, E. G. Medrano-Tellez, A., Ibarra-Medina, J., Siller, H. and Rodriguez, C. (2017). Experimental Study of Back Wall Dross and Surface Roughness in Fiber Laser Microcutting of 316L Miniature Tubes. *Micromachines*. 9 (1), 4.
37. İnternet: Lazer Işınının Özellikleri URL:
http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.keyence.com%2Fss%2Fproducts%2Fmarking%2Fmarking_central%2Fquestion%2Fqabasic.jsp&date=2019-05-03. Son Erişim Tarihi: 03.05.2019.
38. Kahraman, N., Gülenç, B. (2013). *Modern Kaynak Teknolojisi* (İkinci Baskı), Ankara: Epa-mat Yayınları, 200-202.
39. Powell, J. (1998). *CO₂ Laser Cutting*, London: Springer, 2.

40. İnternet: Femtosaniye Lazeri Karşılaştırması URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.thefabricator.com%2Farticle%2Fflaser-cutting%2Fsmall-scale-laser-cutting-for-stent-tube-fabrication%23gallery-1&date=2019-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2019.
41. Gabzdyl, J. (2008, October). *Fiber lasers for medical applications*. Paper presented at the Association of Industrial Laser Users-PHOTONEX 2008, England.
42. İnternet: Julio Palmaz Röportaj URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.medscape.com%2Fviewarticle%2F474644&date=2019-04-28>, Son Erişim Tarihi: 28.04.2019.
43. Pahl, G., Beitz, W. (2010). *Mühendislik Tasarımı; Sistematik Yaklaşım* (çev. H. Rıza Börklü) (Birinci Baskı). Ankara: Hatiboğlu Yayınları, 180.
44. Guse, C.G. (2012). Nazi Ideology and Engineers at War, *Journal of Contemporary History*, 48 (1), 150-174.
45. Organisation for Economic Cooperation and Development. (1997). *Oslo Manual*. Oslo: Organisation for Economic Cooperation and Development, 49-50.
46. Topdemir, H. G. (2009). *İbn Sina ve Bilim*, Ankara: TDV Yayınları, 15.
47. İnternet: Matkap Aynası Resmi URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.aliexpress.com%2Fitem%2FMini-Electric-Drill-Chuck-0-3-4mm-JT0-Taper-Mounted-Lathe-Chuck-PCB-Mini-Drill-Press%2F32465654129.html&date=2019-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2019.
48. İnternet: Doğrusal Kızak ve Araba Resmi URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.solidrop.net%2Fproduct%2Ffree-ship-mini-for-12mm-linear-guide-mgn12-l-400mm-linear-rail-mgn12h-long-linear-carriage-for-cnc-x-y-z-axis-3d-printer-part.html&date=2019-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2019.
49. İnternet: Yaylı Somun URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.ebay.fr%2Fitm%2FT8-8mm-Anti-backlash-Spring-Loaded-Nut-For-3D-Printer-Trapezoidal-Rod-Lead-Screw-%2F263994196276&date=2019-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2019.
50. Stewarts, B. (2015). *Adventures in Arduino*, England: Wiley, 121.
51. İnternet: Step Motor Tanıtımı URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.islproducts.com%2Fdesignnote%2Fstepper-motor-fundamentals%2Fstepper-motor-construction%2F&date=2019-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2019.

EKLER

EK-1. Tezgahta kullanılan Arduino kodu

```
#include <AFMotor.h>

int in1 = 2;

AF_Stepper motor2(200, 1);
AF_Stepper motor1(200, 2);

void setup() {
    Serial.begin(9600);          // set up Serial library at 9600 bps
    Serial.println("Stepper test!");
    motor1.setSpeed(60); // 60 rpm
    motor2.setSpeed(60); // 60 rpm
    pinMode(in1, OUTPUT);
}

void loop() {
    /////LOOP_1
    /////LOOP_1_1
    digitalWrite(in1, HIGH);
    motor2.step(8, FORWARD, MICROSTEP);
    motor1.step(200, FORWARD, DOUBLE);
    motor2.step(8, BACKWARD, MICROSTEP);
    motor1.step(200, BACKWARD, DOUBLE);
    digitalWrite(in1, LOW);
    motor2.step(33, BACKWARD, MICROSTEP);
    /////LOOP_1_2
    digitalWrite(in1, HIGH);
    motor2.step(9, FORWARD, MICROSTEP);
    motor1.step(200, FORWARD, DOUBLE);
    motor2.step(9, BACKWARD, MICROSTEP);
```

EK-1. (devam) Tezgahta kullanılan Arduino kodu

```
motor1.step(200, BACKWARD, DOUBLE);  
digitalWrite(in1, LOW);  
motor2.step(34, BACKWARD, MICROSTEP);  
/////LOOP_1_3  
digitalWrite(in1, HIGH);  
motor2.step(8, FORWARD, MICROSTEP);  
motor1.step(200, FORWARD, DOUBLE);  
motor2.step(8, BACKWARD, MICROSTEP);  
motor1.step(200, BACKWARD, DOUBLE);  
digitalWrite(in1, LOW);  
motor2.step(33, BACKWARD, MICROSTEP);  
/////LOOP_1_4  
digitalWrite(in1, HIGH);  
motor2.step(9, FORWARD, MICROSTEP);  
motor1.step(200, FORWARD, DOUBLE);  
motor2.step(9, BACKWARD, MICROSTEP);  
motor1.step(200, BACKWARD, DOUBLE);  
digitalWrite(in1, LOW);  
motor2.step(34, BACKWARD, MICROSTEP);  
/////LOOP_1_5  
digitalWrite(in1, HIGH);  
motor2.step(8, FORWARD, MICROSTEP);  
motor1.step(200, FORWARD, DOUBLE);  
motor2.step(8, BACKWARD, MICROSTEP);  
motor1.step(200, BACKWARD, DOUBLE);
```

EK-1. (devam) Tezgahta kullanılan Arduino kodu

```
digitalWrite(in1, LOW);

motor2.step(33, BACKWARD, MICROSTEP);

/////LOOP_1_6

digitalWrite(in1, HIGH);

motor2.step(9, FORWARD, MICROSTEP);

motor1.step(200, FORWARD, DOUBLE);

motor2.step(9, BACKWARD, MICROSTEP);

motor1.step(200, BACKWARD, DOUBLE);

digitalWrite(in1, LOW);

motor2.step(17, BACKWARD, MICROSTEP);

motor1.step(113, BACKWARD, DOUBLE);

/////LOOP_2

/////LOOP_2_1

digitalWrite(in1, HIGH);

motor2.step(8, FORWARD, MICROSTEP);

motor1.step(200, FORWARD, DOUBLE);

motor2.step(8, BACKWARD, MICROSTEP);

motor1.step(200, BACKWARD, DOUBLE);

digitalWrite(in1, LOW);

motor2.step(33, BACKWARD, MICROSTEP);

/////LOOP_2_2

digitalWrite(in1, HIGH);

motor2.step(9, FORWARD, MICROSTEP);

motor1.step(200, FORWARD, DOUBLE);

motor2.step(9, BACKWARD, MICROSTEP);

motor1.step(200, BACKWARD, DOUBLE);
```

EK-1. (devam) Tezgahta kullanılan Arduino kodu

```
digitalWrite(in1, LOW);  
motor2.step(34, BACKWARD, MICROSTEP);  
/////LOOP_2_3  
digitalWrite(in1, HIGH);  
motor2.step(8, FORWARD, MICROSTEP);  
motor1.step(200, FORWARD, DOUBLE);  
motor2.step(8, BACKWARD, MICROSTEP);  
motor1.step(200, BACKWARD, DOUBLE);  
digitalWrite(in1, LOW);  
motor2.step(33, BACKWARD, MICROSTEP);  
/////LOOP_2_4  
digitalWrite(in1, HIGH);  
motor2.step(9, FORWARD, MICROSTEP);  
motor1.step(200, FORWARD, DOUBLE);  
motor2.step(9, BACKWARD, MICROSTEP);  
motor1.step(200, BACKWARD, DOUBLE);  
digitalWrite(in1, LOW);  
motor2.step(34, BACKWARD, MICROSTEP);  
/////LOOP_2_5  
digitalWrite(in1, HIGH);  
motor2.step(8, FORWARD, MICROSTEP);  
motor1.step(200, FORWARD, DOUBLE);  
motor2.step(8, BACKWARD, MICROSTEP);  
motor1.step(200, BACKWARD, DOUBLE);  
digitalWrite(in1, LOW);
```

EK-1. (devam) Tezgahta kullanılan Arduino kodu

```
motor2.step(33, BACKWARD, MICROSTEP);

////LOOP_2_6

digitalWrite(in1, HIGH);

motor2.step(9, FORWARD, MICROSTEP);

motor1.step(200, FORWARD, DOUBLE);

motor2.step(9, BACKWARD, MICROSTEP);

motor1.step(200, BACKWARD, DOUBLE);

digitalWrite(in1, LOW);

////FINAL_CUTTING

motor1.step(88, FORWARD, DOUBLE);

digitalWrite(in1, HIGH);

motor2.step(201, FORWARD, MICROSTEP);

digitalWrite(in1, LOW);

motor1.step(813, FORWARD, DOUBLE);

digitalWrite(in1, HIGH);

motor2.step(201, FORWARD, MICROSTEP);

digitalWrite(in1, LOW);

motor1.release();

motor2.release();

delay(10000);

}
```


ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÖKGÖZ, Osman Tuna
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 30.09.1988, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : +90 505 497 46 27
 e-mail : osmantunagokgoz@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstriyel Tasarım Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	ODTÜ / Makina Mühendisliği	2014
Lise	Ankara Atatürk Anadolu Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2019-Halen	Epamak Metal	Ar-Ge Mühendisi
2017-2019	Yepsan Havacılık	Ar-Ge Mühendisi
2015-2016	Arıman Makina	Ar-Ge Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Gökgoz, O. T., Sezer, H. K. (2017). *The Design of a Low-cost Set-up for Manufacturing the Stent*. ISIDE 2nd International Symposium on Industrial Design and Engineering, Nevşehir, 228-232.

Hobiler

Mekatronik



GAZİ GELECEKTİR..