

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SU ALTI DEMİRLİ MAYINLARIN ETKİSİZ HALE GETİRİLMESİNE
YÖNELİK PNÖMATİK ROBOTİK KESİCİ PROTOTİPİNİN
GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Güvenç SORARLI

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

TEMMUZ 2019

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SU ALTI DEMİRLİ MAYINLARIN ETKİSİZ HALE GETİRİLMESİNE
YÖNELİK PNÖMATİK ROBOTİK KESİCİ PROTOTİPİNİN
GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Güvenç SORARLI

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Savaş DİLİBAL

TEMMUZ 2019



T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz Savunma Teknolojileri Yüksek Lisans Programı 151202006 numaralı öğrencisi **Güvenç SORARLI**'nın "SUALTI DEMİRLİ MAYINLARININ ETKİSİZ HALE GETİRİLMESİNE YÖNELİK PNÖMATİK ROBOTİK KESİCİ PROTOTİPİNİN GELİŞTİRİLMESİ" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 26/06/2019 tarih ve 2019/12 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından *güvenç sorarli* ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak *kesme* edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : *12.07.2019*

1)Tez Danışmanı: **Doç. Dr. Savaş DİLİBAL**

2)Jüri Üyesi : **Prof. Dr. Mehmet Ali BAYKAL**

3)Jüri Üyesi : **Prof. Dr. Haluk KÜÇÜK**

[Handwritten signatures of the thesis supervisor and jury members]

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “SU ALTI DEMİRLİ MAYINLARIN ETKİSİZ HALE GETİRİLMESİNE YÖNELİK PNÖMATİK ROBOTİK KESİCİ PROTOTİPİNİN GELİŞTİRİLMESİ” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütun süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.

(12/07/2019)

Güvenç SORARLI

ÖNSÖZ

“ Ulusları kurtaranlar, yalnız ve ancak öğretmenlerdir.”

M. Kemal ATATÜRK

Tezimi hazırlarken yol gösteren, ilgilenen ve tez danışmanlığımı yapan İstanbul Gedik Üniversitesi öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Savaş DİLİBAL hocama, Dr. Öğr. Üyesi Haydar Şahin hocama, yüksek lisans yapmam için beni cesaretlendiren ve her konuda yardımlarını esirgemeyen İstanbul Gedik Üniversitesi Mütavelli Heyet Başkanı Sayın Hülya GEDİK hanıma, İstanbul Gedik Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Zafer UTLU'ya, Gedik Holding CEO'su Doç. Dr. Mustafa KOÇAK bey'e, Gedik Holding çalışanlarından Mustafa TOKMAK, Ertuğ HASTÜRK ve Recep SÜTÇÜ bey'e, sistemdeki dinamik analizler için MSC ADAMS kullanımımı sağlayan BİAS Mühendislik Yönetim Kurulu Başkanı Aydın KUNTAY bey'e, tezimi hazırlarken ihmal ettiğim halde bana anlayış gösteren ve destek veren anneme, babama, sevgili eşim Gözde SORARLI'ya, çocuklarım Efe ve Defne'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Temmuz 2019

Güvenç SORARLI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışma Konusu	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
2. SU ALTI ROBOTİK KESİCİ SİSTEMLERİ	4
3. GELİŞTİRİLEN SU ALTI ROBOTİK KESİCİ SİSTEMİNİN MEKATRONİK SİSTEM TASARIMI.....	12
3.1 Fiziksel Mekatronik Sistem Tasarımı (MST)	12
3.1.1 Katı modelleme ve mekanik sistemin dinamik analizi	13
3.1.2 Malzeme seçimi.....	13
3.2 Pnömatik Kontrol.....	13
3.3 Robotik Kesici Sistemin Mekanik Tasarımı, Dinamik Analizi ve Prototipi	15
3.3.1 Tasarım-I.....	16
3.3.1.1 MSC ADAMS'ta kurulan model için hareket tanımlaması	19
3.3.1.2 Mafsallara etki eden tepki kuvvetleri.....	19
3.3.1.3 Kesme kuvvetinin hesaplanması	21
3.3.1.4 Robotik kesici sistemin prototipi (Tasarım-I)	22
3.3.2 Tasarım-II.....	24
3.3.2.1 MSC ADAMS'ta kurulan model için hareket tanımlanması	27
3.3.2.2 Mafsallara etki eden tepki kuvvetleri.....	28
3.3.2.3 Kesme kuvvetinin hesaplanması	27
3.3.2.4 Robotik kesici sistemin prototipi (Tasarım-II).....	30
4. PROTOTİPİ GELİŞTİRİLEN TASARIMIN MEKANİK TESTLERİ	33
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR.....	43
ÖZGEÇMİŞ	46

KISALTMALAR

ROV	: İnsansız Su Altı Aracı (Uzaktan Kumandalı)
SAS	: Su Altı Savunma
EMG	: Elektromiyografi
SMA	: Şekil Bellekli Alaşım
Ni-Ti	: Nikel-Titanyum
ULDSAR	: Çok Amaçlı Ulusal İnsansız Sualtı Aracı
SAM	: Su Altı Aracı Manipülatör Sistemi
PAP	: Su Altı Mayın İmha Aracı
MST	: Mekatronik Sistem Tasarımı
IMU	: Inertial Measurement Unit
HDA	: Hız Değişim Alanı
TCB	: Türkiye Cumhuriyeti Bahriyesi

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1: 5083 Alüminyum Alaşımın Kimyasal Bileşimi	15
Çizelge 3.2: 5083 Alüminyum Alaşımın Mekanik Özellikleri.....	15
Çizelge 4.1: Robotik Kesici Sistemin X ve Y Eksenlerindeki Hız Değişimi	34



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Su Altı Mayın İmha Aracı.....	1
Şekil 1.2 : SAS Mayın İmhası.....	2
Şekil 1.3 : Deniz Kuvvetleri Mayın Tarama Sistemi	3
Şekil 2.1 : Su Altı Mayın Arama, Tespit, İmha ve Kurulum Sistematiği	5
Şekil 2.2 : Su Altı Mayın Tipleri.....	6
Şekil 2.3 : İnsansız Su Altı Aracı TCB Deniz Aslanı (ROV) ve Mayın Avlama Aracı (PAP) Suya İnişi	6
Şekil 2.4 : İnsansız Su Altı Aracının Alt Sistemleri.....	7
Şekil 2.5 : İnsansız Su Altı Aracı Hidrolik Tahrikli Robotik Tutucu ve Manipülatör	11
Şekil 2.6 : İnsansız Su Altı Aracı Robotik Tutucu Sistemi	11
Şekil 3.1 : Su Altı Robotik Kesici Sisteminin Mekatronik Sistem Tasarımı (MST)	12
Şekil 3.2 : Kompresör ve Yön Kontrol Valfi.....	14
Şekil 3.3 : 8/25 Pnömatik Piston Alt Parçaları.....	14
Şekil 3.4 : Su Altı Robotik Kesici Sistemi (Tasarım –I) Alt Parçaları.....	16
Şekil 3.5 : Robotik Kesici Sistemi (Tasarım-I) Alt Parçaları Teknik Resimleri.....	17
Şekil 3.6 : Alt Parçaları Birleştirilmiş Robotik Kesici Sistemi (Tasarım-I)	18
Şekil 3.7 : Robotik Kesici Çene Açıklığı.....	18
Şekil 3.8 : Robotik Kesici Sisteme Ait Tanımlanan Hareket Kinematiği	19
Şekil 3.9 : Robotik Kesici Mekanizmasındaki Mafsallar	19
Şekil 3.10: Mafsal 1 Tepki kuvvetleri	20
Şekil 3.11: Mafsal 2 Tepki kuvvetleri	20
Şekil 3.12: Robotik Kesici Kesme Kuvveti Temas Noktası Yay Tanımlaması	21
Şekil 3.13: Kesme Kuvveti ve Piston Kuvveti Karşılaştırma Grafiği	21
Şekil 3.14: Robotik Kesici Prototipi (Üstten Kapalı Çene Görünümü)	22
Şekil 3.15: Robotik Kesici Prototipi (Üstten Açık Çene Görünümü)	23
Şekil 3.16: Robotik Kesici Prototipi (Yandan Görünüm)	23
Şekil 3.17: Su Altı Robotik Kesici Sistemi (Tasarım-II) Alt Parçaları	24
Şekil 3.18: Robotik Kesici Sistemi (Tasarım-II) Alt Parçaları Teknik Resimleri	25
Şekil 3.19: Alt Parçaları Birleştirilmiş Robotik Kesici Sistemi (Tasarım-II).....	26
Şekil 3.20: Mafsal-2 Çevresinde Radyal Yönde Genişletilen Boşluk.....	26
Şekil 3.21: Tasarım-I ve Tasarım-II Arasındaki Tasarımsal Farklar	27
Şekil 3.22: Robotik Kesici Tasarımı (Tasarım-II) Açık ve Kapalı Konumları.....	27
Şekil 3.23: Robotik Kesici Çene Açıklığı (Tasarım-II).....	28
Şekil 3.24: Piston Kuvvetinin Mafsal 1 Üzerinde Oluşturduğu Tepki Kuvveti	28
Şekil 3.25: Piston Kuvvetinin Mafsal 2 Üzerinde Oluşturduğu Tepki Kuvveti	29
Şekil 3.26: Robotik Kesici Kesme Kuvveti Tespiti İçin Yay Tanımlaması	29
Şekil 3.27: Kesme Kuvveti ve Piston Kuvveti Karşılaştırma Grafiği	30
Şekil 3.28: Su Altı Robotik Kesici Sisteminde Etki Eden Temas ve Kesme Kuvvetleri.....	30
Şekil 3.29: Robotik Kesici Prototipi (Üstten Kapalı Çene Görünümü)	31

Şekil 3.30: Robotik Kesici Prototipi (Üstten Açık Çene Görünümü)	31
Şekil 3.31: Robotik Kesici Prototipi (Yandan Görünüm)	32
Şekil 4.1 : IMU Sensörü	34
Şekil 4.2 : IMU Sensörü Deney Düzeneği.....	35
Şekil 4.3 : Robotik Kesici İle Kablo Kesilerek (Açma- Kapama) X Eksenindeki IMU Sensörü İle Alınan İvme Verileri	35
Şekil 4.4 : Robotik Kesici İle Kablo Kesilerek (Kapama) X Eksenindeki IMU Sensörü İle Alınan İvme Verileri.....	36
Şekil 4.5 : Robotik Kesici İle Kablo Kesilerek (Açma) X Eksenindeki IMU Sensörü İle Alınan İvme Verileri	36
Şekil 4.6 : Robotik Kesici İle Kablo Kesilerek (Açma- Kapama) Y Eksenindeki IMU Sensörü İle Alınan İvme Verileri	37
Şekil 4.7 : Robotik Kesici İle Kablo Kesilerek (Kapama) Y Eksenindeki IMU Sensörü İle Alınan İvme Verileri.....	37
Şekil 4.8 : Robotik Kesici İle Kablo Kesilerek (2.Açma) Y Eksenindeki IMU Sensörü İle Alınan İvme Verileri.....	37
Şekil 4.9 : Yük Hücresi İle Çekme Kuvveti Test Düzeneği	38
Şekil 4.10: Yük Hücresi İle Çekme Kuvveti Testi (0,8 MPa Akışkan Basınç Altında)	38
Şekil 5.1 : SAS Komandoları Mayın Tespit Ve İmhası	39
Şekil 5.2 : Geliştirilen Robotik Kesici Sisteminin Entegre Edildiği İnsansız Su Altı Aracının Teknik Resmi	41

SU ALTI DEMİRLİ MAYINLARIN ETKİSİZ HALE GETİRİLMESİNE YÖNELİK PNÖMATİK ROBOTİK KESİCİ PROTOTİPİNİN GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Deniz harbinde en yaygın harp araçlarından biri olarak kullanılan deniz mayınlarına karşı arama, tespit ve imha maksatlı birçok mayın karşı tedbiri (MKT) geliştirilmektedir. İnsansız mayın karşı tedbirlerinin gelişmesinde malzeme, makine ve mekatronik sistemlerdeki gelişmeler etkin rol oynamıştır. Günümüzde halen kullanılmakta olan dip mayınları temel olarak dipte sabit bir ağırlığa ve buna bağlı uzunluğu deniz yüzeyine yakın olacak şekilde ayarlanmış bir halat ya da tel vasıtası ile askıda bırakılarak çevresinden geçen gemi veya denizaltılara karşı savunma amaçlı kullanılmaktadır.

Yapılan bu çalışma, su altı demirli mayınlarının etkisiz hale getirilmesine yönelik pnömatik tahrikli robotik kesici prototipinin geliştirilmesini amaçlamaktadır. Robotik kesici, manipülatör sistemindeki uç fonksiyonel elemandır. Etki edilmek istenen cisimle direk temas kuran tek alt sistemdir. Robotik kesici konumu ve yönelimi manipülatör ile kontrol edilerek istenilen nihai konuma getirilir ve yapılacak operasyona göre kesme işlemini gerçekleştirir.

Prototipi geliştirilen robotik kesici sistemi su altı pnömatik tahrikle çalışan çeneli tip kesicidir. Robotik kesici korozyona mukavim sert bir metal olan 5083 serisi alaşımli alüminyumdan üretilmiştir. Kesilecek malzemenin özelliğine göre (tel yada halat) robotik kesici bıçakların daha sert ve mukavim bir malzemeden üretilmesi mümkündür. Eyleyici tahrik sistemi olarak pnömatik kompresör sistemi kullanılmıştır. Bu sistem pnömatik tahrikli piston mekanizmasını ileri geri hareket ettirerek robotik kesici sistemi açıp kapatmaktadır. Tez kapsamında robotik kesicinin optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir. Mekanik sistemin dinamik simülasyonu ve analizi için MSC ADAMS'ta kurulan model kullanılmıştır. Ayrıca, deneysel çalışmalarda IMU sensör ve yük hücresi kullanılarak robotik kesici için hız, pozisyon bilgileri tespit edilmiş ve çekme kuvveti testleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *İnsansız Su Altı Aracı, ROV, Su Altı Robotu, Kesici, Pnömatik Tahrikli Robotik Kesici, Demirli mayın*

DEVELOPMENT OF A PNEUMATIC UNDERWATER ROBOTIC CUTTER PROTOTYPE ORIENTED FOR MOORED SEA MINE DESTRUCTION

ABSTRACT

Many developments have occurred in countermine measurements in the areas of searching, detection and destruction of sea mines, which is a very common instrument in the sea battles. The improvements in the battlefield equipments, machineries, and mechatronics systems played a crucial roles in the studies of unmanned countermine measurements. The moored sea mines which are still used are consist of a cable connected to the ground weight. The length of the cable is measured just to reach the surface of sea level in order to defend against the ships traveling there.

The aim of this study is to reveal the significance of the design for the pneumatically actuated robotic cutter prototype, which can be used to deactivate sea mines at sea level. Robotic cutter is the main functional element in the manipulator system. It is the only sub-system that has the direct contact with the object. The direction and the position can be controlled by the manipulator appointed to the final position and the cutting operation.

The manufactured prototype of the robotic cutting system has two-jaw type gripper, operated by an underwater pneumatic actuator. The robotic cutter is manufactured by a corrosion resistance 5083 series alloy-aluminum metal. Depending on the properties of the cutting material, the robotic cutter can be manufactured using high hardness strengthened material. Pneumatic compressor system is used as an active actuator system. This system moves the pneumatically actuated piston mechanism backwards and forward in order to open or close the robotic cutting system. The optimum design of the robotic cutting system is accomplished in this study. MSC ADAMS model is used for the dynamic simulation and the analysis of the mechanical system. Additionally, experiment results are obtained using IMU sensor and load-cell which are utilized to receive speed, position data and tension force.

Keywords: *Unmanned underwater vehicle, underwater robotics cutter, pneumatically actuated robotic cutter, moored sea mine.*

1. GİRİŞ

1.1 Çalışma Konusu

Savunma sanayinde denizleri ve okyanusları daha efektif ve verimli bir biçimde kullanmak için birçok yeni keşif ve buluşlar gerçekleştirilmektedir. Özellikle su altını ilgilendiren çalışmalarda bilim insanlarını en çok zorlayan konuların başında derinlere inildikçe basınç gelmektedir. Bu çalışmada, su altında tel ya da halat gibi malzemeleri ve buna bağlı patlayıcı sistemleri güvenli bir biçimde kesip, su yüzeyine çıkarabilmek için prototipi geliştirilen su altı robotik kesici sisteminin tasarım ve mekanik testleri gerçekleştirilmiştir.

Hali hazırda Türk Deniz Kuvvetlerinde su altı demirli mayınlarının imhası, bu iş için özel olarak eğitilmiş personel ya da yurt dışından alınan yüksek maliyetli su altı mayın imha araçları tarafından yapılmaktadır. Bu kapsamda örnek bir su altı mayın imha aracı Şekil 1.1’de gösterilmektedir. Öncelikle su altında sonarlar vasıtası ile bir demirli mayını tespit edildiğinde, ilk olarak demirli mayınını etkisiz hale getirebilecek su altı mayın imha aracı donanımlı bir gemi bölgeye yönlendirilir ve mayın tarama işlemine Şekil 1.3’deki gibi başlar. Mayın tespit edildikten sonra, gemi üzerinde bulunan su altı mayın imha aracı suya indirilerek üzerindeki kamera yardımıyla fiziki olarak mayına yaklaşması sağlanır. Bu aşamadan sonra su altı aracının üzerinde bulunan robotik kesici ile mayına bağlı 5,5 mm, 6,3 mm, 7,9 mm, 11,1 mm ölçülerinde tel ya da halat kesilerek mayının su yüzeyine çıkması sağlanır.



Şekil 1.1: Su Altı Mayın İmha Aracı (URL-1, 2017)

Şayet bölgede insansız su altı mayın imha aracı bulunan gemi yok ise, bölgeye ivedi şekilde SAS (Su Altı Savunma) komandoları gönderilerek, önce demirli mayının mevkiini tespit etmeleri, daha sonra ise robotik kesici ile mayının halatını keserek su yüzeyine çıkarmaları sağlanır. Hali hazırda kullanılan bu sistem, mayınlı bölgede çalışan SAS personelinin Şekil 1.2’de gösterildiği gibi hayati riskini ortaya çıkarmakta ve mayınlı sahada korumasız olarak çalışmalarına sebep olmaktadır. Bu nedenle yüksek manevra kabiliyetine sahip ve robotik kesici donanımı bulunan insansız su altı araçlarına ihtiyaç büyüktür.

İnsansız su altı araçları temel olarak kablo kontrollü (ROV) ve kablosuz (Otonom) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Su altı demirli mayınlarının etkisiz hale getirilmesi görevlerinde gemi üzerinden veya su üstü aracından kontrol sağlanarak müdahale gerçekleştirilmektedir.



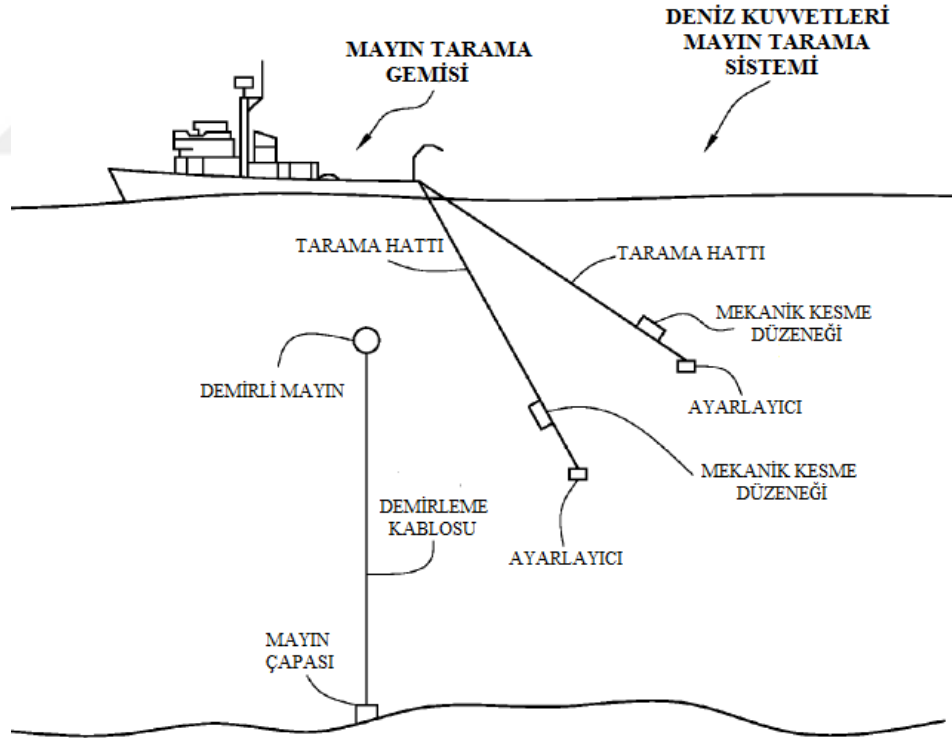
Şekil 1.2: SAS Mayın İmhası (URL-2, 2017)

1.2 Tezin Amacı

Deniz dibinde demirli mayına yaklaşımadan uzaktan müdahale ve imhasına olanak verecek robotik kesici sistem donanımına sahip insansız su altı araçlarına ihtiyaç artmaktadır. Yurt dışından satın alınan yüksek maliyetli insansız su altı araçları yerine milli imkanlar ile üretilen insansız su altı aracına monte edilebilecek robotik kesici sistemine ihtiyaç bulunmaktadır. Su altı araca monte robotik kesici sisteminin yerli imkânlar ile geliştirilmesi ile mayın gemilerinde görev yapan personelin

hazırlık süresinin hızlandırılması sağlanacak ve doğabilecek vakit kaybının önüne geçilecektir. Demirli mayınların etkisiz hale getirmeye yönelik ileri teknoloji mayın imha sistemlerinin yurt içi üretiminin yapılabilmesi ve sistemin savunma sanayinde kullanılması milli savunma açısından katma değer yaratacaktır.

Bu tez çalışmasında su altı demirli mayınlarının bağlantı tel yada halatlarının kesilerek su yüzeyine çıkarılmasını sağlayacak ve imhasını kolaylaştıracak, İnsansız su altı araçlarına entegre edilebilecek pnömatik tahrikli robotik kesici sistemi tasarlayarak prototipini geliştirmek amaçlanmıştır. Bu maksatla tez kapsamında öncelikle sistemin mekatronik sistem tasarımı gerçekleştirilerek iki ayrı robotik kesici sistem tasarımı yapılmıştır. Yapılan bu tasarım için MSC ADAMS kullanılarak kurulan model ile mekanik sistemin dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, deneysel aşamada prototip üzerinde mekanik testler yapılarak sistemin hız, pozisyon ve çekme kuvveti verileri tespit edilmiştir. Mekanik testlerin tamamlanması sonucunda kesme maksatlı en uygun koşulları sağlayan tasarım ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 1.3: Deniz Kuvvetleri Mayın Tarama Sistemi. Nels ve diğ. (2015)

2. SU ALTI ROBOTİK KESİCİ SİSTEMLERİ

Ülkemizde başta Aselsan olmak üzere savunma firmalarında su altı savunma sistemlerine yönelik birçok araştırma yapılmaktadır. Su altında mayın tespitine yönelik sonar cihazları, torpido sistemleri, torpidoya karşı savunma torpidosu, su altı güdümlü sistemler ve insansız su altı araçları ülkemizdeki bu teknolojik çalışmalara örnek olarak verilebilir.

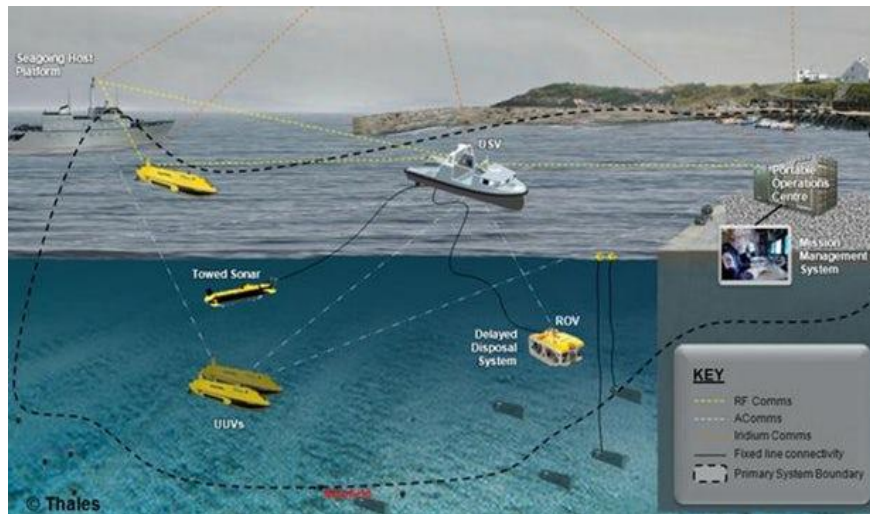
Mayın harbinde kullanılan deniz mayınları Şekil 2.3'de gösterildiği gibi dip mayınları ve demirli mayınlar olmak üzere ikiye ayrılır. Anti işgal temaslı, etkileşimli ve kontrollü olmak üzere dip mayınları üç alt gruba ayrılabilir. Demirli mayınlar ise sabit demirli mayınlar ve sabit olmayan (sürüklenen) demirli mayınlar olmak üzere iki alt gruba ayrılır. Gelişen sensör sistemleri ile beraber ileri teknoloji etkileşimli dip mayınları geliştirilmesine dönük çalışmalar devam etmektedir.

Deniz harbinde en yaygın harp araçlarından biri olarak kullanılan deniz mayınlarına karşı arama, tespit ve imha maksatlı birçok mayın karşı tedbiri (MKT) geliştirilmektedir. İnsansız su altı araçlarının bu alanda kullanılması ile beraber deniz mayınlarının bertaraf edilmesine yönelik MKT esaslı teknolojik çalışmalar artmıştır. Savunma sanayinde, su altı demirli mayını kurulum sistematığı Şekil 2.1'de gösterilen demirli mayınlarının imhasına yönelik yapılan çalışmalar stratejik öneme sahip konuların başında gelmektedir. Mayın dökme gemilerinden veya uçaklardan atılarak döşenen su altı mayınları, küre ya da elips biçiminde olup içerisinde patlayıcı, ateşleme düzeneği mevcuttur. Bu mayınlar akustik, manyetik ve mesafe sensörleri gibi farklı sensör mekanizmalarıyla beraber ateşleme tertibatına sahip elektronik ünitelerden de oluşabilir. Kullanılan halat, kablo veya telin uzunluğuna göre sığ alanlarda üç metreden üç yüz metreye kadar derinlere gidildikçe gemiden denizaltılara kadar birçok farklı hedeflere karşı kullanılmak üzere su altına konuşlandırılabilir.

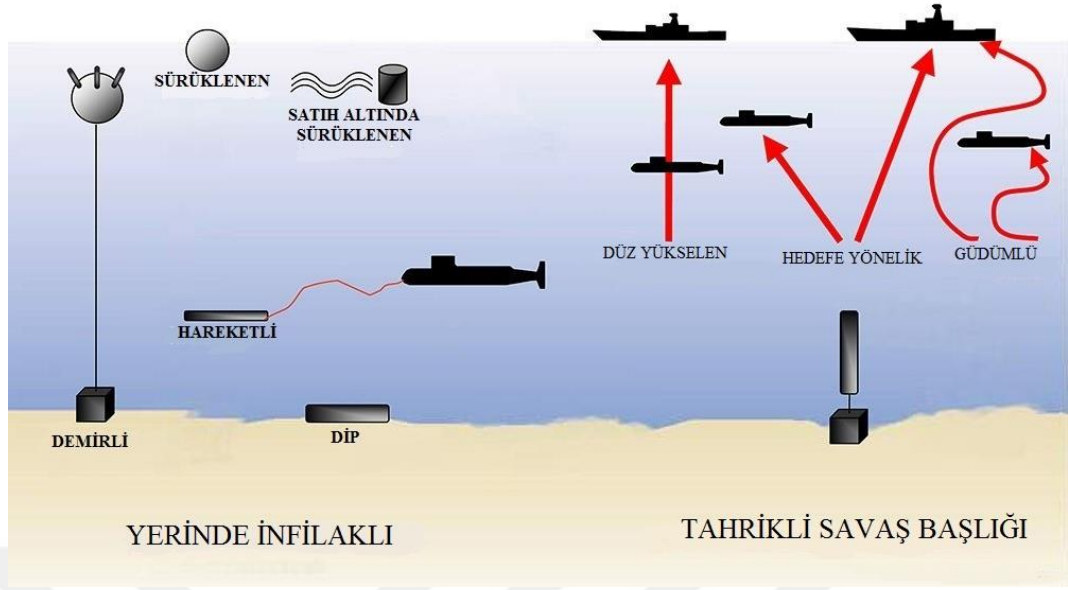
Manyetik, akustik ve basınçlı füyeler su altı mayınlarında kullanılan ana fünye çeşitleridir. Fakat gelişen teknolojik yeniliklerle ateşleme mekanizmasında elektronik

sistemlerde kullanılmaya başlanmıştır. Bu alanda Türk Deniz Kuvvetlerinde mayın arama, tespit ve imha işlemlerinde kullanılan birçok teknolojik teçhizat bulunmaktadır. Yurt dışından alımı yapılan mevcut insansız su altı araçlarına bir örnek olarak Şekil 2.3’de bulunan mayın tespiti amaçlı kullanılan İnsansız Su Altı Mayın Avlama Aracı (PAP) gösterilebilir. İnsansız Su Altı Mayın Avlama Aracı (PAP) üzerinde bulunan fiber optik kablo ile 600 Metre yarıçapında bir alanda ve 120 Metre derinliğe kadar çalışabilmektedir. Mayın avlama gemisi üzerinde bulunan bir konsol ve iki vinç operatörü vasıtasıyla insansız su altı aracı suya indirilir. Su altında mayın imha amaçlı, üzerinde kamera ve robotik kesici bulunan insansız su altı aracının (PAP) gerek ağırlığı, gerekse kurulumundaki zorluklar ve maliyeti göz önünde bulundurulduğunda, demirli mayınlarının halatlarının kesilmesine yönelik yeni bir prototip geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Türk Deniz Kuvvetlerinde kullanılan Şekil 2.3’de bulunan TCB Deniz Aslanı İnsansız Su Altı Aracı (ROV) üzerinde bulunan fiber optik kablo ile 1000 metre derinliğe kadar çalışma yapabilmektedir. Üzerinde bulunan sonar vasıtasıyla demirli mayınların su altındaki mevkisini ve derinliğini tespit eder. Üzerindeki hidrolik tahrikli manipülator vasıtası ile tespit edilmiş olan demirli mayınların su yüzüne çıkarılması için kullanılmaktadır. Tasarlanan robotik kesici prototipinin, insansız su altı araçlarına (ROV) entegre edilerek, mevcut sistemin daha kolay taşınabilir ve yerli bir sistem olması hedeflenmektedir.



Şekil 2.1: Su Altı Mayın Arama, Tespit, İmha ve Kurulum Sistematiği (URL-3, 2018)



Şekil 2.2: Su Altı Mayın Tipleri (URL-4, 2018)



Şekil 2.3: İnsansız Su Altı Aracı TCB Deniz Aslanı (ROV) ve Mayın Avlama Aracı (PAP) Suya İnişi (URL-5, 2018)

Türk Deniz Kuvvetlerinde kullanılan TCB Deniz Aslanı insansız su altı aracı 1000 m derinlikte ve 4 knts akıntıda görev icra edebilmektedir. Kumanda sistemi kablo ile deniz yüzeyinden olup, üzerinde bulunan 4 adet ileri ve geri, 2 adet dalış ve çıkış amacıyla kullanılan toplam 6 adet itici sisteme Şekil 2.4f sahiptir. Deniz yüzeyinde bulunan kumanda paneli Şekil 2.4a sayesinde operatör tarafından verilen tüm komutları cihaza gönderir ve cihazdan gelen tüm bilgileri operatöre sunar. Operatör insansız su altı aracının tüm hareketlerini Şekil 2.4b’de gösterilen Joystick vasıtasıyla ve robotik kolun kumandası Şekil 2.4c’de gösterilen manipülasyon kontrol kutusu ile gerçekleştirilir. İnsansız su altı aracının üzerinde bulunan manipülasyon sistemi 25 kg

kaldırma kapasitesine kadar su altı görevlerinin yapabilmesine imkan tanyan Şekil 2.4d’de gösterilen, hidrolik kumandalı robotik kola sahiptir. Şekil 2.4e’de gösterilen görüntüleme sistemi vasıtasıyla insansız su altı aracı su altında görüntüleme işlemi yapabilmektedir.



a) Kumanda Paneli



b) Joystick Kontrol



c) Manipülâtör Kontrol



d) Manipülâtör Sistem



e) Görüntüleme Sistemi



f) Pervane Sistemi

Şekil 2.4: İnsansız Su Altı Aracının Alt Sistemleri

Bugüne kadar, insansız su altı araçları, robotik kol ve tutucu sistemleri ile ilgili literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde birçok farklı tasarım ve tahrik sistemleri kullanılarak araştırmalar yapıldığı görülmektedir. Kerr ve Roth (1986) tarafından geliştirilen sistemde elektrik ve pnömatik tahrikli robotik kollar ve bu kollara entegre tutucuların kavrama hareketleri incelenmiştir.

Çakır ve diğerleri (2015) tarafından yapılan çalışmalarda, EMG kontrollü robotik kol ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. İnsan kas sistemi ve sinyallerini algılama ve bu sinyalleri analiz edip hareket yeteneği sağlanmış robotik kollar üzerine yapılan bu çalışma ülkemizdeki önemli robotik kol araştırmalarındandır.

Dilibal ve diğerleri (2004) tarafından yapılan çalışmalarda mayın temizleme alanında kullanılabilecek şekil bellek alaşım (SMA) tahrikli üç parmaklı robot elin yapımı ve uygulama analizi gerçekleştirilmiştir. Kara mayınları için geliştirilen bu robotik sistemde nikel-titanyum (Ni-Ti) şekil bellekli alaşım kullanılarak prototipi gerçekleştirilen robot elin tutma ve bırakma kabiliyeti ile ilgili deneysel çalışmalar yapılmıştır. Nikel-titanyum şekil bellekli alaşımların başta robotik parmak ve röle sistemleri olmak üzere farklı uygulamalarda kullanılması ile ilgili tasarımsal ve deneysel çalışmalar yürütülmüştür (Dilibal ve diğerleri 2015, Dilibal ve diğerleri 2017). Ayrıca gerçekleştirilen tekrarlı mekanik testlerde sistem davranışını incelemiştir (Dilibal ve diğerleri 2017). Yapılan deneysel çalışmalarla nikel-titanyum şekil bellekli alaşımların elektron demeti ergitme yöntemi ile katmanlı imalatı yapılmıştır (Peduk ve diğerleri 2018).

Tüz (1994) tarafından yapılan çalışmalarda Mat/ODTÜ isimli pnömatik eyleyici tipine sahip bir robot el geliştirilmiştir. Bu robotik elin parmaklarda hareket iletimi makara-ip sistemi ile yapılmaktadır.

Backstein ve diğerleri (1991) tarafından yapılan çalışmalarda, mayın tarama ünitesi suya oranla daha az ve balast ünitesi daha fazla spesifik ağırlıklara sahiptir. Mayın teli tutulduktan ve sabitlendikten sonra, düşük özgül ağırlıktaki mayın temizleme ünitesi, mayın gövdesine ve yüksek özgül ağırlıktaki balast ünitesi, mayın ağırlığı boyunca düşer. Serbest bırakılabilir şekilde birbirine bağlanmış iki üniteden oluşan birinci ünite, mayın telini tahrip etmeye hizmet eder. İkinci ünite, mayın ağırlığının parçalanmasını sağlayacak bir patentli ürün geliştirmişlerdir.

Wiggins ve diğeri (2016) tarafından yapılan çalışmalarda İnsansız su altı araçlarına adapte edilebilir bir su altı robotik kesme sistemi tasarlamışlardır. Ağları veya diğeri engelleri kesmek için dişli sistemlerden oluşan kesme sistemleri ve yöntemlerini açıklamışlardır.

Nels ve diğeri (2015) tarafından yapılan çalışmalarda demirli mayınların bağlı olduğu kabloların kesilmesine yönelik geliştirdikleri ve patentini aldıkları otomatik kablo kesici mekanizması kesicinin ağzına bir kablo veya tel konumlandırılacak şekilde yapılandırılmıştır. Geliştirilen sistemde yer alan iki ayrı kayar mafsal gemi tarafından belirli bir açıyla çekilen teller üzerinde hareket etmektedir.

Bryan ve diğeri (2015) tarafından yapılan çalışmalarda su altı eğitim mayınlarının ve ağırlıklarının tekrar kullanılmasına yönelik az maliyetli ve güvenli bir kablo kesme sistemini, yüksek basınçlı üç kademeli bir yağsız hava kompresörü kullanarak kullanımı kolay basit bir kablo kesici sistem yapmışlardır.

Ülkemizde insansız su altı aracı tasarımına yönelik birçok çalışma mevcuttur. Kritik su altı aracı geliştirme teknolojisinin ülkemize kazandırılması ve dışarıya aktarılan kaynağın ülkemizde kalması için çok amaçlı insansız su altı aracı tasarımına yönelik projelere ağırlık vermeye başlanmıştır. ODTÜ'de geliştirilen çok amaçlı ulusal insansız su altı aracı projesinde iki tip su altı aracı tasarlanmıştır. Üzerinde çeşitli akustik cihazlar, sonar sistemleri ve ışıklandırmalar bulunan araçların biri yüzeyde radyo frekansı ile diğeri su altında kablo vasıtasıyla iletişim kurmakta ve 100 mt derinliğe kadar dalabilmektedir.

TR Teknoloji Ltd. Sti. tarafından 2007 yılında geliştirilen çalışmalarda askeri insansız su altı aracında robotik kol sistemi, kablo toplama sistemi mevcuttur.

ASELSAN tarafından geliştirilen, su altı keşif ve gözetleme, liman ve kritik alan güvenliği, mayın tanı teşhis ve imha, arama ve kurtarma amaçlı tasarlanan insansız su altı aracı gelişmiş otonom seyrüsefer, görüntüleme sonarına sahiptir. Geliştirilen insansız su altı aracında kamera sistemi kullanılarak keşif ve gözetleme, otomatik şüpheli cisim tanıma ve uyarı, veri ve görüntü aktarımı için yüzer ara birim, insansız sistemler için birleşik mimari uyumluluğu özellikleri bulunmaktadır.

Dünya genelinde gerçekleştirilen diğeri literatür çalışmalarında Korkmaz ve diğeri (2013) yaptığı çalışmaya benzer su altı araçlarının robotik kolları ve su altı işlerindeki temas noktaları olarak nitelendirebileceğimiz tutucuların su altı işlerini

doğru, hızlı ve problemsiz icra edebilmeleri için önem arz eden manipülatör sistemleri ve her koşulda yörüngede kalabilmeleri için yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Mahesh H ve diğerleri (1991), Wit C ve diğerleri (1998), Cui ve diğerleri (2003), Antonelli ve diğerleri (2003), Ishitsuka ve diğerleri (2004)

Kensei ve diğerleri (2014) tarafından yapılan çalışmada, literatürde robotik tutucu konusunda yapılan çalışmalara insan gücüyle taşınabilecek boyutlarda ve basit hassas pratik işlerde kullanılacak bir su altı aracı ve tutucu tasarlanmış ve bunun ön çalışmalarını sunulmuştur. Çalışmada, su altı robotunun hareket kabiliyeti, robotik tutucu kontrolü ve bazı su altı görevleri yerine getirme başarısı test edilmiştir.

Hedbawny ve diğerleri (1974) tarafından yapılan çalışmalarda sığ sularda deniz mayını demirleme kablolarını kesmek için kullanılan bir kesme sistemi geliştirmişlerdir. Sistem, aparatın ucunu çekme kabına önceden belirlenmiş konumda tutmak için bir bastırıcı içerir. Suya batırılmış cihazın, önceden belirlenmiş bir derinlikte veya operatörün seçimine göre deniz tabanının üzerinde önceden belirlenmiş bir yükseklikte kontrol edilmesine neden olacak elektronik kontrol devresi içermektedir. Şamandıranın konumu, bir yüzey şamandırasıyla işaretlenmiştir. Bu tür mayınların demirleme hatlarını kesmek için dişlinin uygun bir mayın tarama gemisinin arkasına çekildiği bir sisteme yönlendirilmektedir.

Kahya (2014) tarafından yapılan çalışmalarda kivi hasadı için robotik tutucu geliştirilmiştir. Endüstriyel tarımda önemli araştırmalardan biri olarak sayılan bu çalışmada her meyve için hasat yapacak robotik sistem ve tutucunun farklı olması gerektiğinden yola çıkılmıştır. Kivi meyvesi hasadında ucunda bir adet kesici olan tutucu ile %72 oranda hasat başarısı elde edilmiştir. İki boyutlu görüntü alımı ve bilgisayar kontrolü ile desteklenen sistemde veriler X,Y koordinatında analiz edilerek tutucunun işlevini yerine getirmesi sağlanmıştır. Kullanılan yöntem ve başarının yanı sıra pnömatik kesicinin yeterliliği de vurgulanmıştır.

Fard ve diğerleri (2018) tarafından yapılan çalışmalarda, biyomedikal alanında özellikle robotik cerrahi alanındaki robotik kesiciler, insan kaynaklı hataları hem en aza indirmişler, hem de cerrahi müdahalenin çok uzak mesafelerden robot marifeti ile yapılabilirliğini sağlamışlardır. Su altı cihazları, robotik sistemler ve tutucu başlıkları altında bakıldığında daha birçok araştırma örneğine rastladığımız akademik dünyada, bu çalışmanın da su altı mayın imhasında kullanılacak pnömatik tutucu

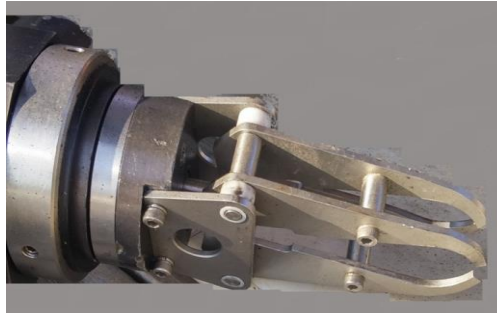
tasarımı ve analizlerinin yapılması hedeflenmektedir. Ayrıca, yeni nesil pnömatik tahrikli esnek robotik sistemleri ile ilgili tasarım ve katmanlı imalat ile üretim konusunda literatürde çalışmalar bulunmaktadır. Dilibal ve diğerleri (2018)

Son yıllarda ülkemizde yapılan insansız su altı aracı sistemi yarışmaları sayesinde üniversitelerimiz ve yerli insansız su altı aracı üretici firmalarda ciddi bir bilgi birikimi oluşmuş, bu bilgi ve birikim ışığında savunma sanayinde kullanılacak bir su altı pnömatik robotik kesici prototipinin geliştirilmesi tasarlanmıştır.

Mevcut Türk Deniz Kuvvetlerinde kullanılan insansız su altı araçları Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’de, robotik kesicinin detaylı resmi Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.5: İnsansız Su Altı Aracı Hidrolik Tahrikli Robotik Tutucu ve Manipülator
(URL-6, 2017)

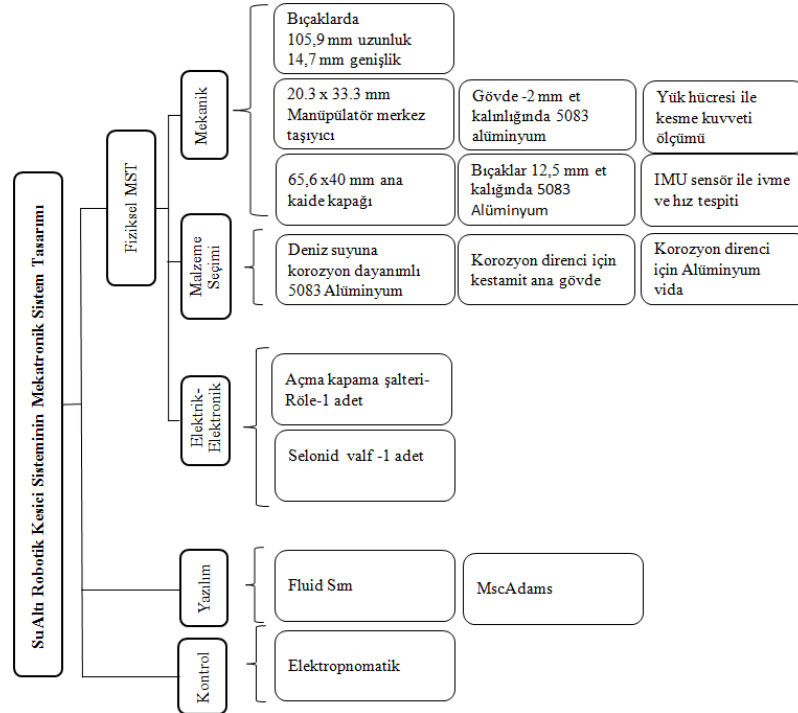


Şekil 2.6: İnsansız Su Altı Aracı Robotik Tutucu Sistemi (URL-6, 2017)

3. GELİŞTİRİLEN SU ALTI ROBOTİK KESİCİ SİSTEMİNİN MEKATRONİK SİSTEM TASARIMI

İnsansız su altı aracına entegre edilebilecek robotik kesici sisteminin taşınabilir, kurulumu kolay ve verimli çalışabilmesi için öncelikle sistemin mekatronik sistem tasarımının (MST) gerçekleştirilmesi sistematik olarak tasarım yapmak açısından çok önemlidir. Şekil 3.1’de su altı robotik kesici sisteminin mekatronik sistem tasarımı (MST) detaylı olarak gösterilmiştir. Mekatronik sistem tasarımında gösterildiği üzere fiziksel mekatronik sistem tasarımı, kontrol ve yazılım şeklinde sistem üç alt gruba ayrılmıştır. Geliştirilen su altı robotik kesici sisteminin su altı demirli mayınlarının su yüzeyine çıkarılarak etkisiz hale getirilmesine yönelik pnömomatik tahrikli robotik kesici prototipi Şekil 3.1’de gösterilen mekatronik sistem tasarımı esaslarına uygun olarak geliştirilmiştir.

3.1 Fiziksel Mekatronik Sistem Tasarımı (MST)



Şekil 3.1: Su Altı Robotik Kesici Sisteminin Mekatronik Sistem Tasarımı (MST)

3.1.1 Katı modelleme ve mekanik sistemin dinamik analizi

Su altında halat, kablo veya tel gibi malzemeleri kesmeye yönelik ve keskin kenarların sıkıştırarak kesme prensibine dayalı bir kavrama analizi yapılmıştır. Kavrama analizi esaslarına uygun olarak gerçekleştirilen tasarımı oluşturmak için değişik formatlarda katı modelleme programları (NX, Catia, Auto CAD, 3DSMax, SolidWorks vb) bulunmaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen pnömatik tahrikli robotik kesici prototipi tasarımı için AutoCAD Inventor programı tercih edilmiştir.

Mekanik sistemin dinamik simülasyonu ve analizi için MSC ADAMS içerisinde kurulan model kullanılmıştır. Yapılan analizlerde çekme uygulanacak piston kuvveti ile kesme kuvveti arasındaki ilişki belirlenmiştir.

3.1.2 Malzeme seçimi

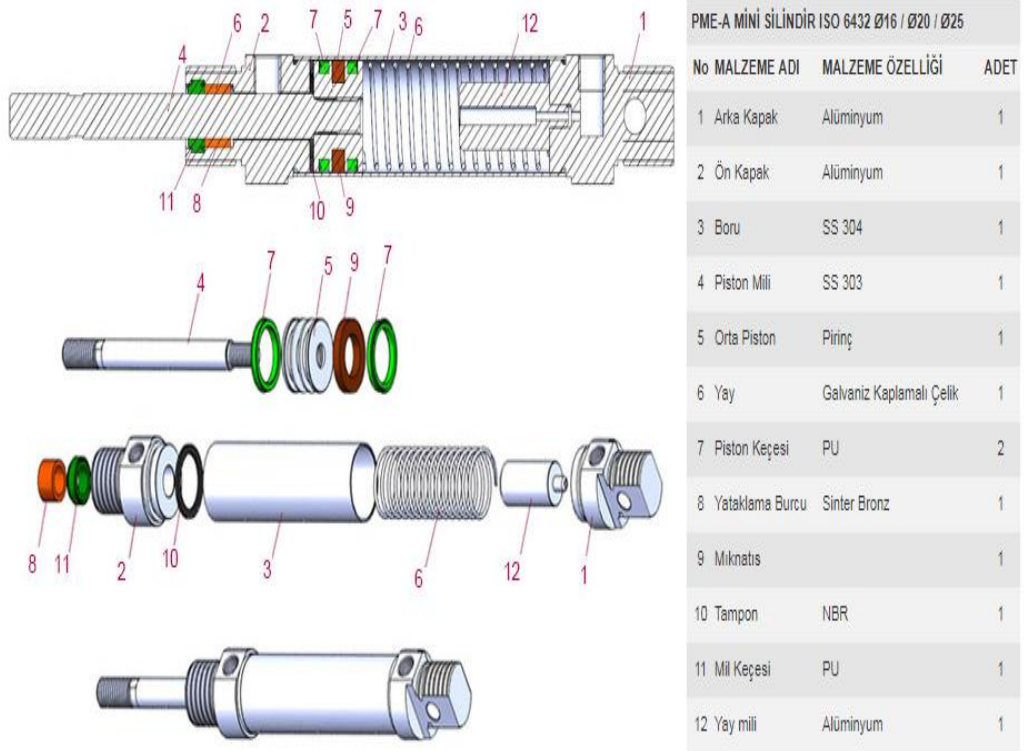
İnsansız su altı aracı için geliştirilen robotik kesici sisteminin malzeme seçiminde korozyona, özellikle deniz suyuna dayanımlı yumuşak formundan dolayı soğuk şekillendirilebilirlik özelliği bulunan 5083 serisi alüminyum seçilmiştir. 5083 alüminyum alaşımlar gemi inşaat sektöründe direk, platform, depolama tank imalatında, savunma sanayisinde askeri araç gövdesi, zırh plakası, taşıma sektöründe demiryolu için kaynaklı tanklar ve yapısal bileşenler, basınçlı kaplar ve borular gibi birçok sahada uygulama alanları bulunmaktadır. Ayrıca ana gövde taşıyıcısı korozyona dayanıklı ve mukavim bir malzeme olan kestamid seçilmiştir. Seçilen 5083 alüminyum alaşımın kimyasal bileşimi Çizelge 3.1’de ve mekanik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Kesilecek telin ya da halatın özelliğine göre, robotik kesici sisteminin bıçakları daha sert ve mukavim bir malzemedен üretilebilmekte ve sisteme adapte edilebilmektedir.

3.2 Pnömatik Kontrol

Sistemin pnömatik kontrolü için kendinden yağlanmalı, maksimum 0,8 MPa (8 bar) basınç üreten, sessiz (45 dB (A)) kompresör tercih edilmiş, kompresörün resmi Şekil 3.2’de verilmiştir. İnsansız su altı aracı için geliştirilen robotik kesici sisteminin kompresörden gelen 0,8 MPa (8 bar) basınçlı havayı pnömatik yön kontrol valfleri vasıtasıyla sisteme iletmesi sağlanarak robotik kesicinin açma ve kapama yapması gerçekleştirilmiştir. Pnömatik piston alt parçaları Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Kompresör ve Yön Kontrol Valfi (URL-7, 2018) (URL-8, 2018)



Şekil 3.3: 8/25 Pnömatik Piston Alt Parçaları (URL-9, 2018)

Çizelge 3.1: 5083 Alüminyum Alaşımın Kimyasal Bileşimi (% ağırlık)

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer
0,40	0,40	0,10	0,40-1,0	4,0-4,9	0,25	0,05-0,25	0,15	0,15

Çizelge 3.2: 5083 Alüminyum Alaşımın Mekanik Özellikleri

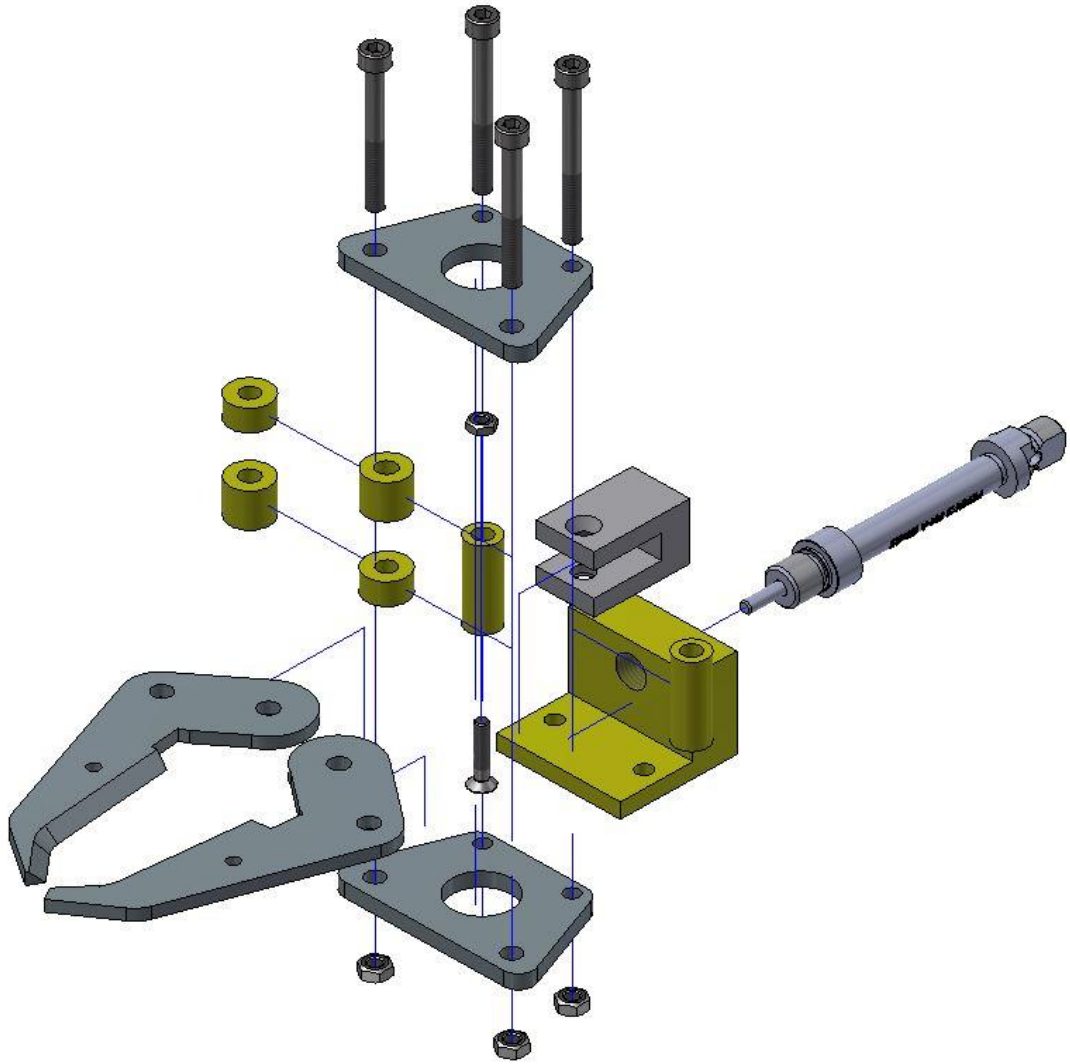
Temper	Akma Mukavemeti (MPa) minimum-maksimum	Çekme Mukavemeti (MPa) min-maks	Uzama (%50) min-maks	Sertlik (Brinel) min-maks
0/H111	125-145	275-300	22	70-75
HX2	205-240	310-330	16	85-90
HX4	270-275	340-360	14	100
HX6	305	380	9	105
HX8	335	400	8	110
HX9	370	420	0-5	115

3.3 Robotik Kesici Sistemin Mekanik Tasarımı, Dinamik Analizi ve Prototipi

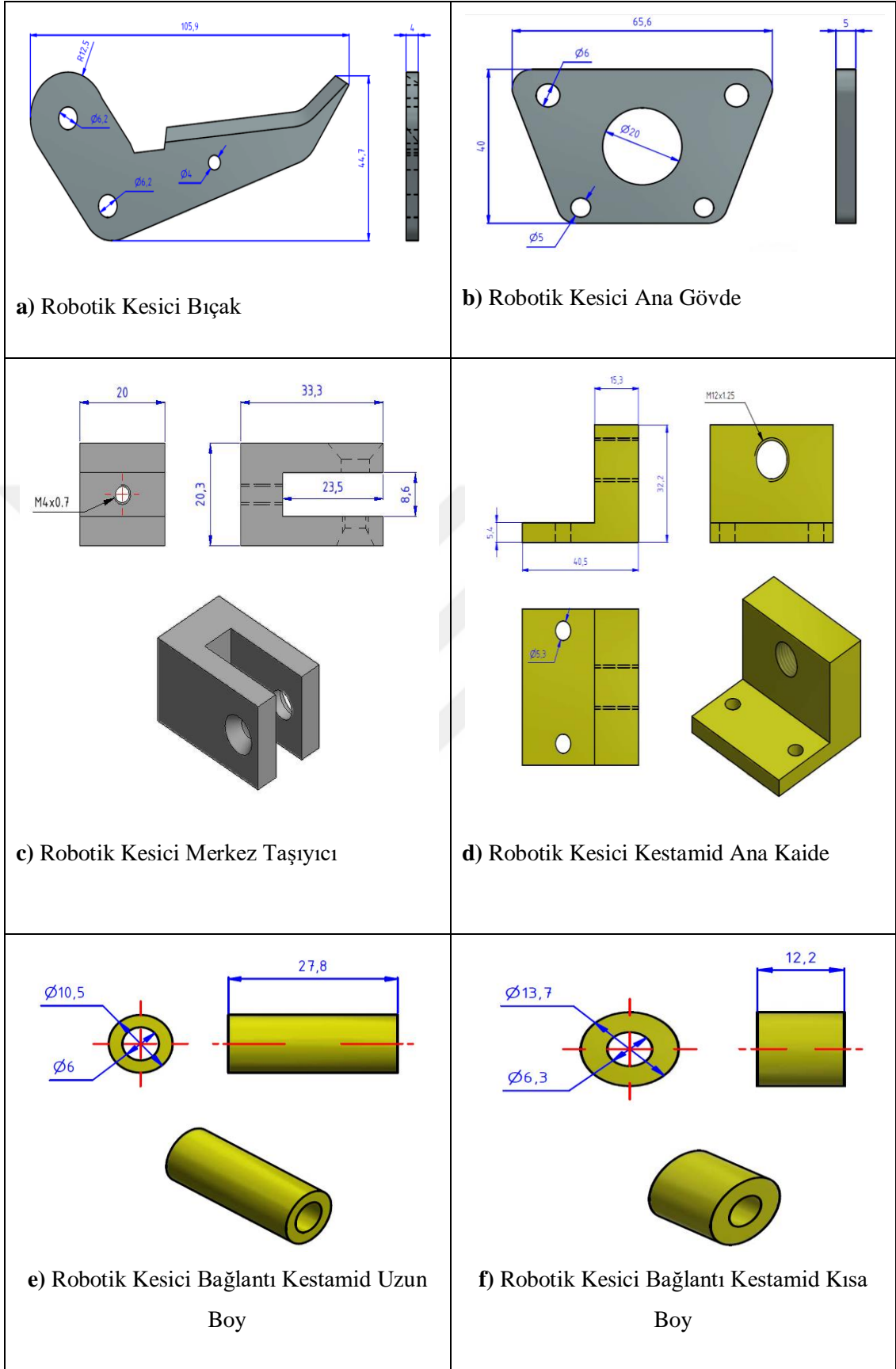
İnsansız su altı aracı için geliştirilen pnömatik tahrikli robotik kesici sistemi için iki farklı tasarım geliştirilmiştir. Tasarımlar yapılırken su altında hareket sınırı olmadan, kullanıcı personel tarafından kurulumu ve taşınması kolay olabilecek bir sistem planlanmıştır. Ayrıca, daha önce tasarlanmış ve üretilmiş robotik kesici örnekleri incelenmiştir. Her iki tasımda da robotik kesici mekanizması için mafsallı yapı tercih edilmiştir. Mafsallar mekanizmayı oluşturan parçaların birbirine göre hareketlerini sınırlayarak aralarında kinematik sistem oluşturmayı sağlayan mekanik alt sistemlerdir. Tasarımlarda Z ekseninde dönebilecek şekilde hareket eden döner mafsallar kullanılmıştır. Tasarlanan robotik kesicinin parçalarının üretiminin yerli ve kolaylıkla değiştirilebilir olması sebebiyle savunma sanayinde avantaj sağlayacağı değerlendirilmektedir.

3.3.1 Tasarım-I

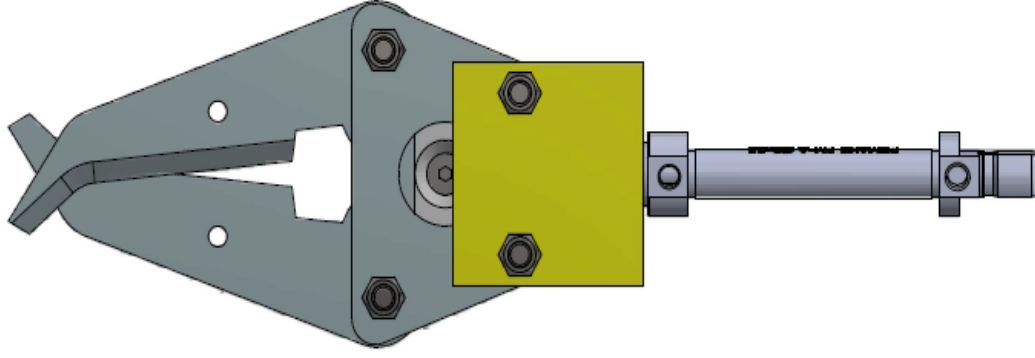
İnsansız su altı aracı için geliştirilen pnömatik tahrikli robotik kesici sistemi için geliştirilen tasarım-I'e ait alt parçalarının entegre edilmesini gösteren detaylı yapı Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Robotik kesici sisteminin alt parçalarına ait teknik resimler Şekil 3.5'in içerisinde ayrı ayrı gösterilmiştir. Alt parçaları birleştirilmiş robotik kesici sistemi (tasarım-I) Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Tasarım-I'e ait robotik kesici bıçak Şekil 3.5a'da, robotik kesici ana gövde Şekil 3.5b'de, robotik kesici merkez taşıyıcı Şekil 3.5c'de, robotik kesici kestamid ana kaide Şekil 3.5d'de, robotik kesici bağlantı uzun boy kestamid Şekil 3.5e'de, robotik kesici bağlantı kestamid kısa boy Şekil 3.5f'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Su Altı Robotik Kesici Sistemi (Tasarım-I) Alt Parçaları

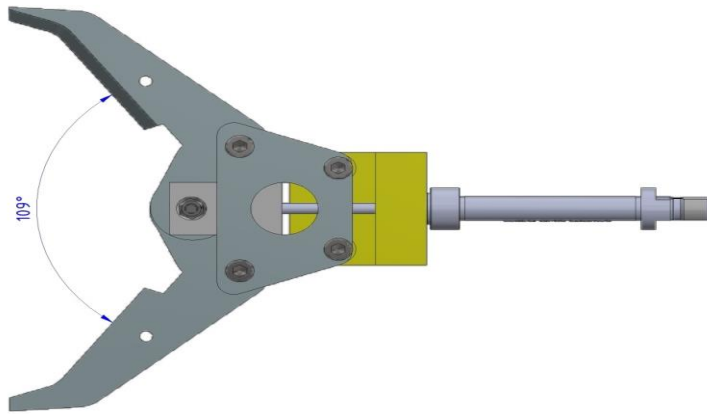


Şekil 3.5: Robotik Kesici Sistemi (Tasarım-I) Alt Parçaları Teknik Resimleri



Şekil 3.6: Alt Parçaları Birleştirilmiş Robotik Kesici Sistemi (Tasarım-I)

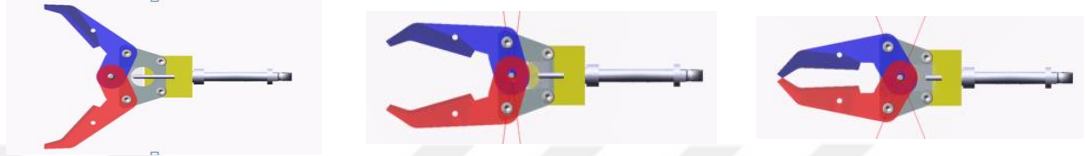
Şekil 3.7’de bıçak parçalarının izleyecekleri yörüngeler çizgi ile gösterilmiştir. Bu parçalar mafsallı mekanizma içerisinde Z ekseninde dairesel bir yörünge takip etmekte ve kayıcı parçanın doğrusal yörüngesiyle kısıtlanmaktadır. Bu durumda sistemin çalışması sadece bağlantıların MSC ADAMS’ta esnek olarak modellenmesi ya da mafsalların boşluklu olması ile mümkün olabilmektedir. Bıçak parçaları gövde parçasına bağlı mafsallar etrafında dönebilmektedir. Robotik kesiciye ait bıçaklar aynı anda ortada bulunan kayıcı parçaya ve birbirlerine döner mafsallar ile bağlıdır. Tüm bu kısıtların sağlanmasından kaynaklanan zorluklar nedeniyle robotik kesici mekanizmasının kinematik olarak hareketi kısıtlanmış olarak yapılmaktadır. Şekil 3.7’de görüldüğü gibi robotik kesici çene açıklığı maksimum 109 derece olabilmektedir.



Şekil 3.7: Robotik Kesici Çene Açıklığı

3.3.1.1 MSC ADAMS'ta kurulan model için hareket tanımlanması

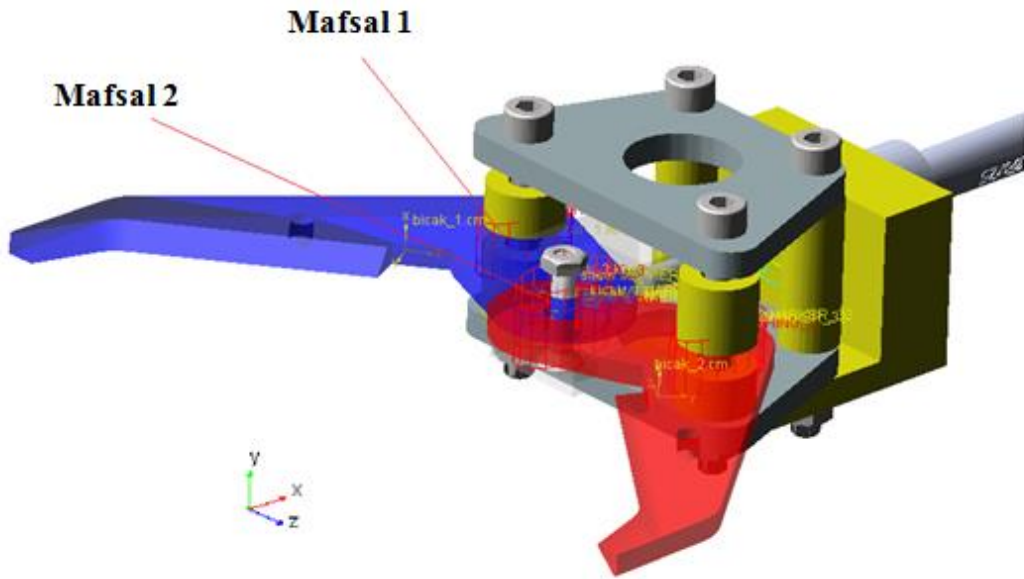
İnsansız su altı aracı için geliştirilen pnömatik tahrikli robotik kesici sisteminin dinamik hareketlerini incelemek için MSC ADAMS'ta kurulan model üzerinde piston üzerindeki kayar mafsala 2 saniye içerisinde 23 mm X ekseninde doğrusal hareketini sağlayacak şekilde hareket tanımlanmıştır. Tanımlanan hareketin kinematığı Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8: Robotik Kesici Sisteme Ait Tanımlanan Hareket Kinematığı

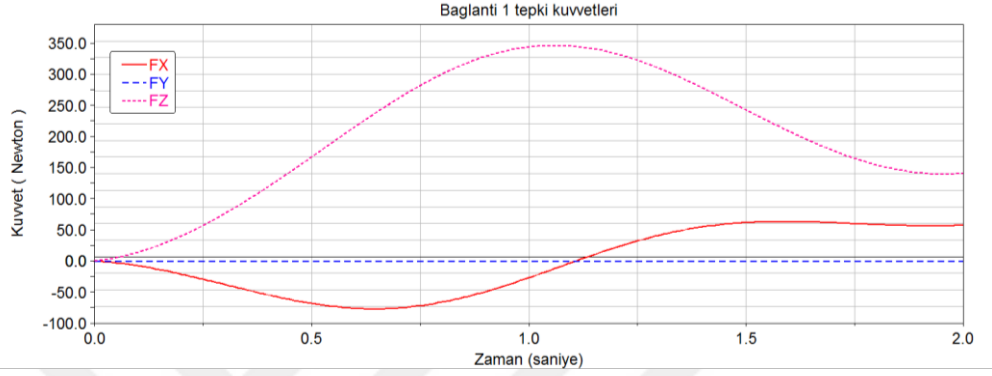
3.3.1.2 Mafsallara etki eden tepki kuvvetleri

Şekil 3.9'da gösterilen mafsal 1 ve mafsal 2'nin üzerine etki eden tepki kuvvetlerinin 2 saniye içerisinde ulaştığı kuvvet değerleri MSC ADAMS kullanılarak tespit edilmiştir. Tasarımdaki simetri nedeniyle robotik kesici çene mekanizmasının sadece biri alınarak model çalıştırılmıştır. Mafsal 1 üzerine etki eden tepki kuvveti Şekil 3.10'da ve mafsal 2 üzerine etki eden tepki kuvveti Şekil 3.11'de verilmiştir.



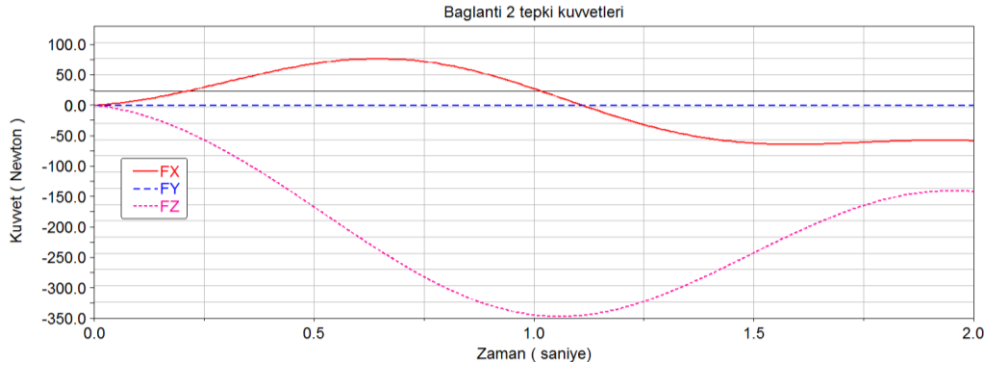
Şekil 3.9: Robotik Kesici Mekanizmasındaki Mafsallar

Aşağıda Şekil 3.10'da gösterilen mafsalsal 1 tepki kuvvetleri incelendiğinde X, Y ve Z eksenlerinde etki eden kuvvetler görülmektedir. Tepki kuvvetleri detaylı olarak incelendiğinde Z eksenindeki maksimum kuvvetin 345 Newton, Y eksenindeki maksimum kuvvetin 0 N ve X eksenindeki maksimum kuvvetin ise 62 N olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.10: Mafsalsal 1 Tepki Kuvvetleri

Aşağıda Şekil 3.11'de gösterilen mafsalsal 2 tepki kuvvetleri incelendiğinde X, Y ve Z eksenlerinde etki eden kuvvetler görülmektedir. Tepki kuvvetleri detaylı olarak incelendiğinde Z eksenindeki maksimum kuvvetin zıt yönde 350 Newton, Y eksenindeki maksimum kuvvetin 0 N ve X eksenindeki maksimum kuvvetin ise 75 N olduğu tespit edilmiştir.

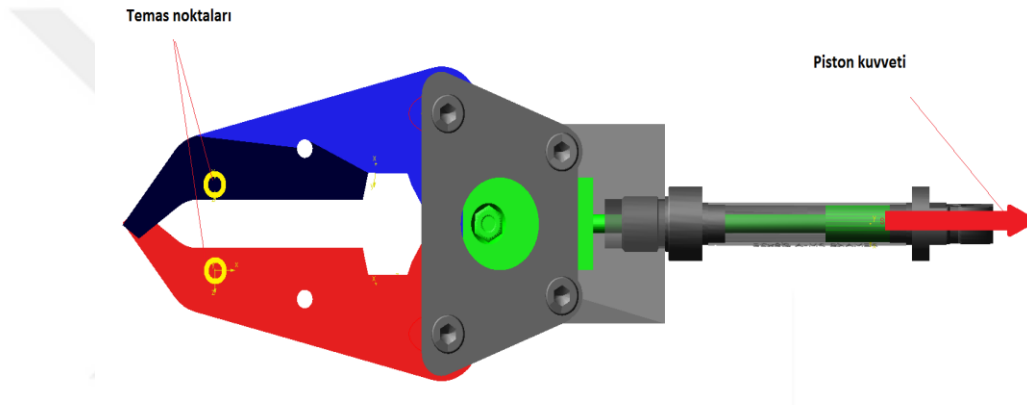


Şekil 3.11: Mafsalsal 2 Tepki Kuvvetleri

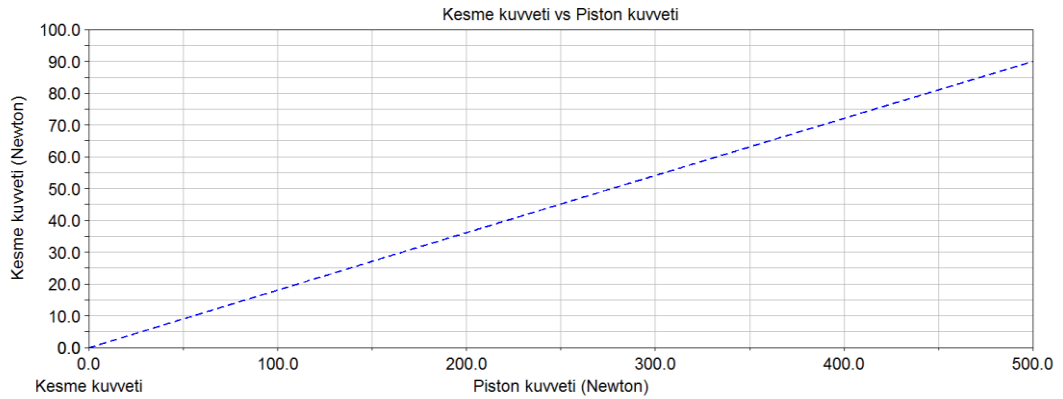
3.3.1.3 Kesme kuvvetinin hesaplanması

Kesme kuvvetinin hesaplanması için robotik kesici Şekil 3.12’de gösterilen pozisyona getirilmiş ve gösterilen temas noktaları arasında kurulan bir yay modeli ile birbirine bağlanmıştır. Bu yay, robotik kesici modeline kesilecek olan halatın modellenmesi için eklenmiştir.

Kesme kuvveti robotik kesicinin kabloyu yakaladığı statik bir durumda incelenmiştir. X eksenindeki lineer piston kuvveti 0’dan 500 Newton’a kadar çıkarılmış ve temas noktaları arasındaki yay üzerinden kesme kuvveti belirlenmiştir. Elde edilen kesme kuvveti değerleri Şekil 3.13’de bulunabilir.



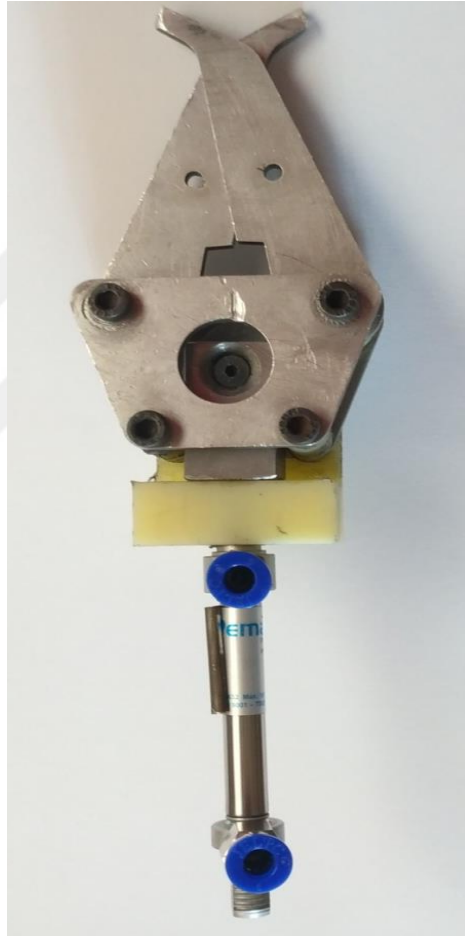
Şekil 3.12: Robotik Kesici Kesme Kuvveti Temas Noktası Yay Tanımlaması



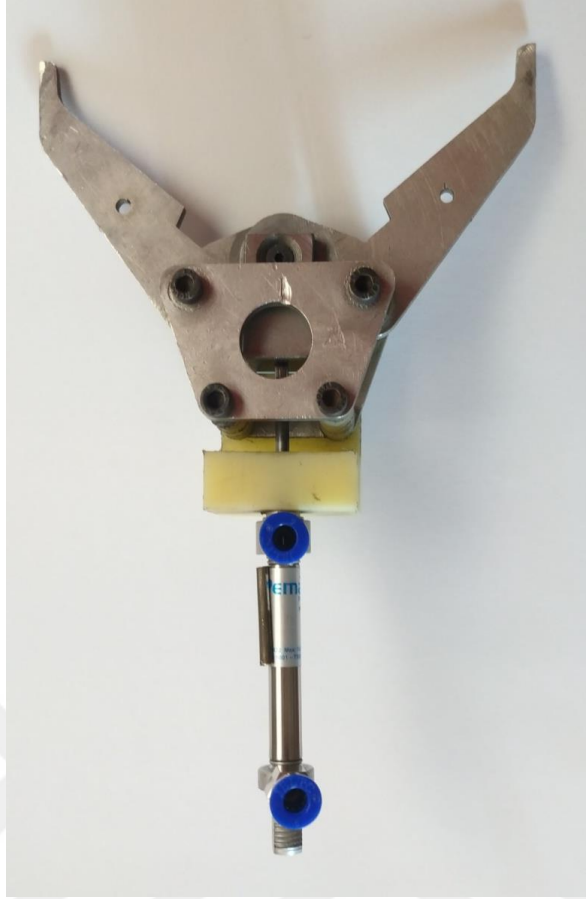
Şekil 3.13: Kesme Kuvveti ve Piston Kuvveti Karşılaştırma Grafiği

3.3.1.4 Robotik kesici sistemin prototipi (Tasarım-I)

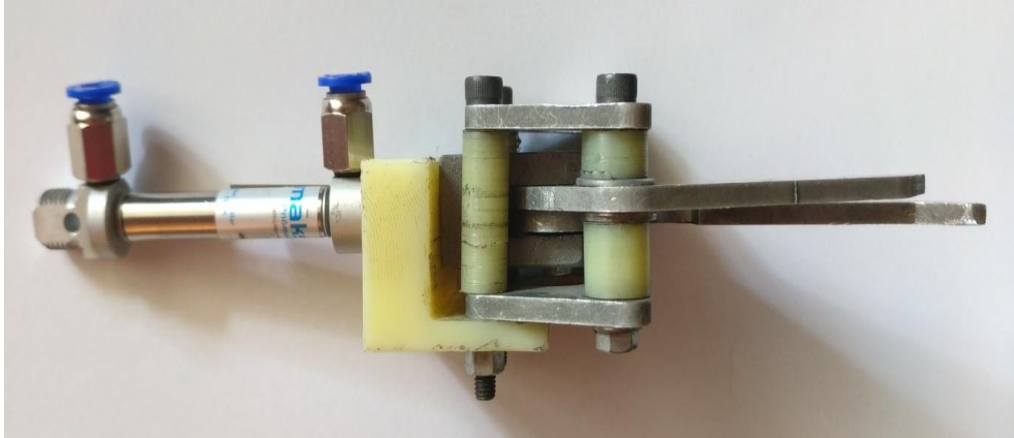
Fiziksel olarak üretilecek olan sistemin çalışması, mafsallardaki radyal boşluklardan kaynaklanan hareket kabiliyetine bağlıdır. Kurulan MSC ADAMS modelinde mafsallar esnek bağlantı elemanları olarak Z ekseninde döner hareket edecek şekilde modellenmiştir. Ancak fiziksel olarak mafsallara verilen esneklik değerlerinin elde edilmesi mümkün olmadığı için, analizler sırasında farklı yay katsayıları kullanılmıştır. Robotik kesici sistem prototipi Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da farklı yönlerdeki görünümle gösterilmektedir.



Şekil 3.14: Robotik Kesici Prototipi (Üstten Kapalı Çene Görünümü)



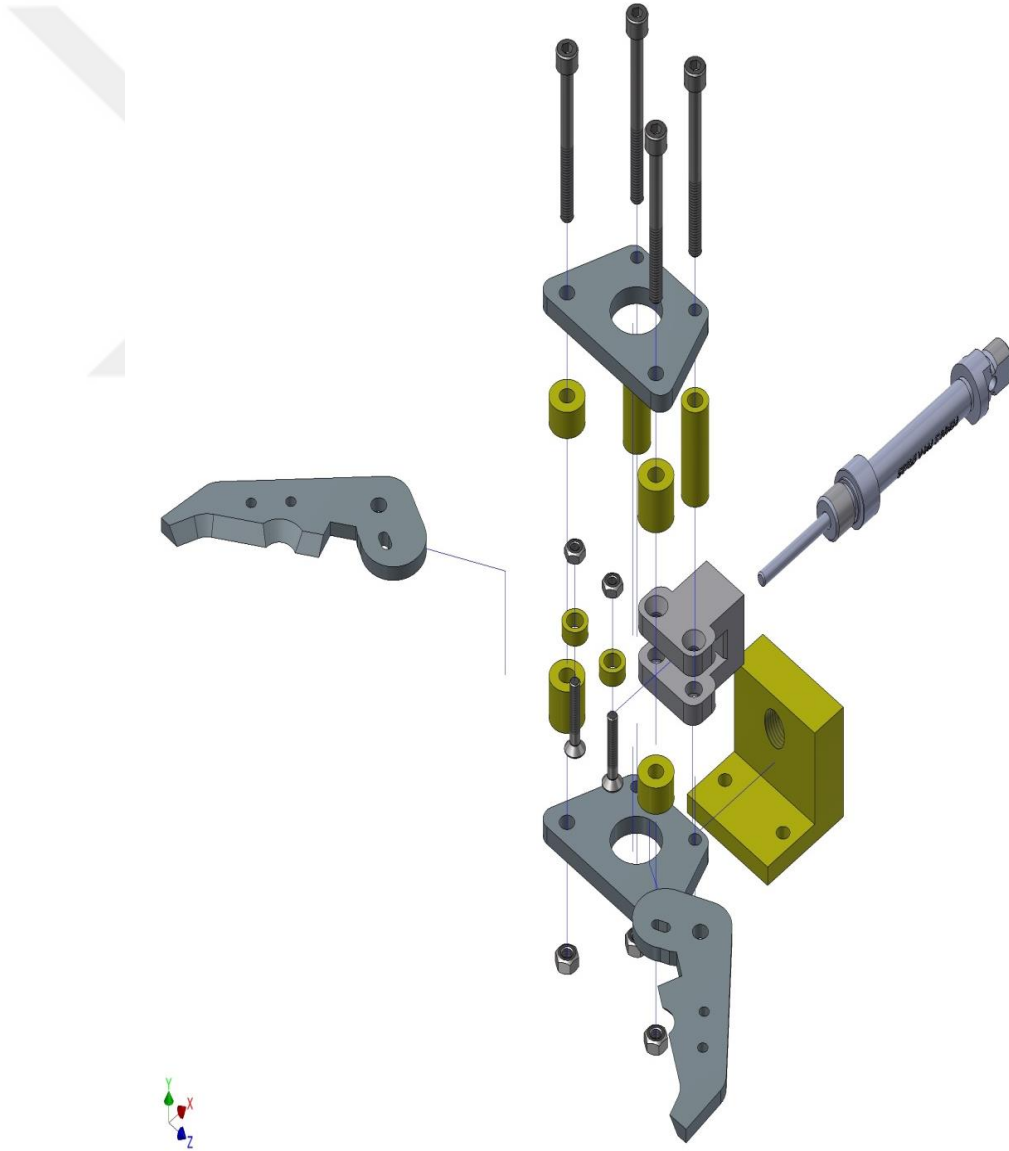
Şekil 3.15: Robotik Kesici Prototipi (Üstten Açık Çene Görünümü)



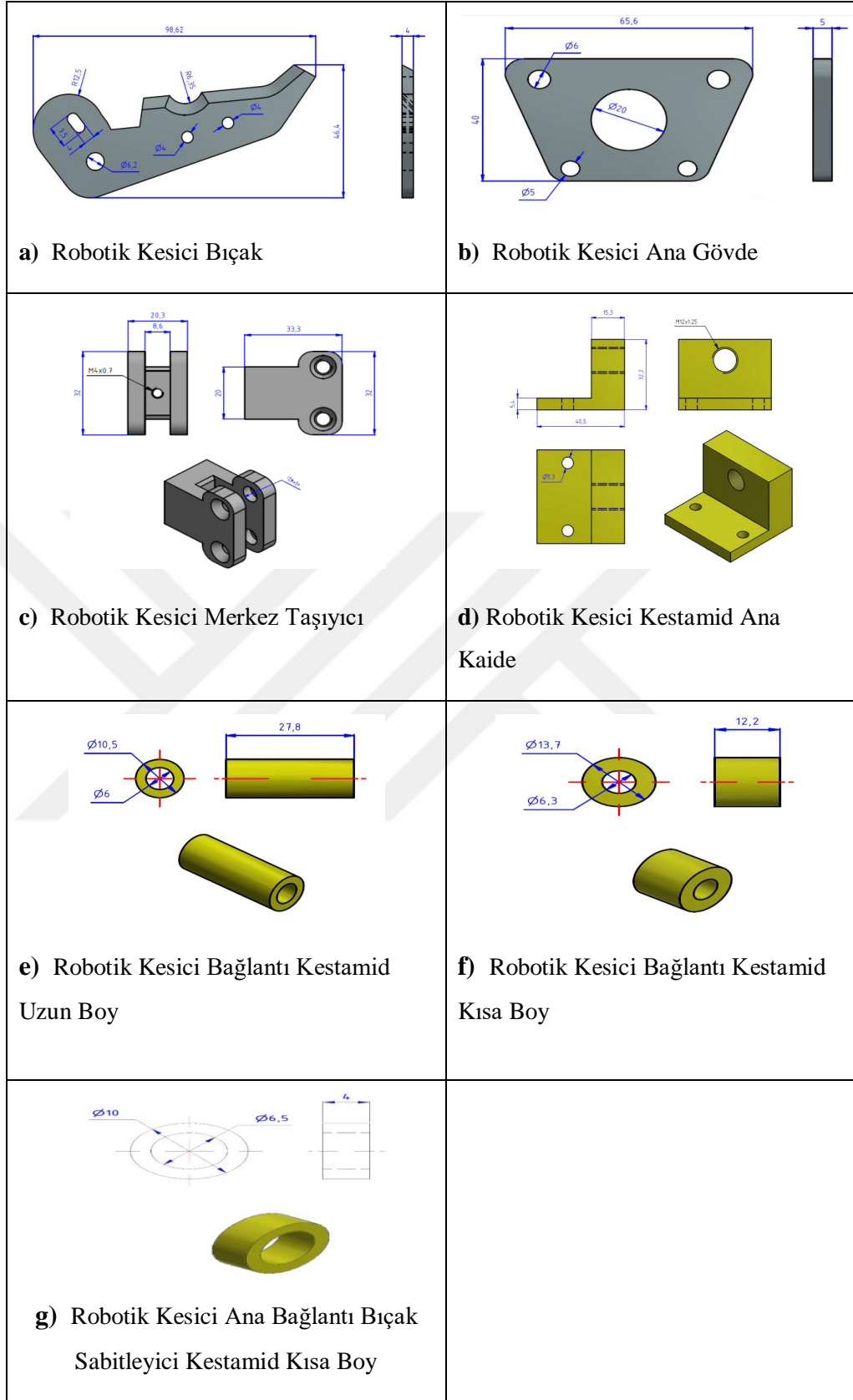
Şekil 3.16: Robotik Kesici Prototipi (Yandan Görünüm)

3.3.2 Tasarım-II

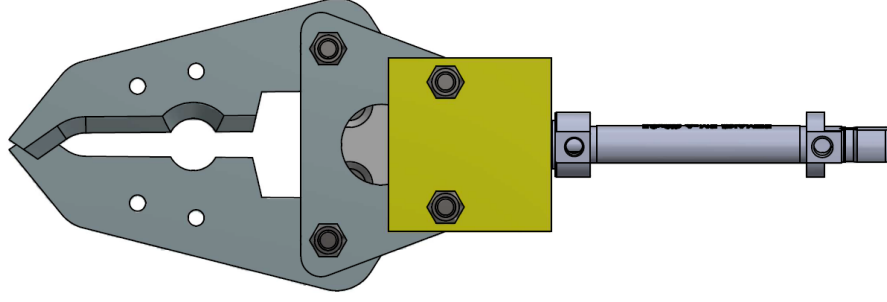
İnsansız su altı aracı için geliştirilen pnömatik tahrikli robotik kesici sistemi için geliştirilen tasarım-II'ye ait alt parçalarının entegre edilmesini gösteren detaylı yapı Şekil 3.17'de gösterilmiştir. Robotik kesici sisteminin alt parçalarına ait teknik resimler Şekil 3.18'in içerisinde ayrı ayrı gösterilmiştir. Alt parçaları birleştirilmiş robotik kesici sistemi (Tasarım-II) Şekil 3.19'da gösterilmiştir. Tasarım-II'ye ait robotik kesici bıçak Şekil 3.18a'da, robotik kesici ana gövde Şekil 3.18b'de, robotik kesici merkez taşıyıcı Şekil 3.18c'de, robotik kesici kestamid ana kaide Şekil 3.18d'de, robotik kesici bağlantı uzun boy kestamid Şekil 3.18e'de, robotik kesici bağlantı kestamid kısa boy Şekil 3.18f'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17: Su Altı Robotik Kesici Sistemi (Tasarım-II) Alt Parçaları



Şekil 3.18: Robotik Kesici Sistemi (Tasarım-II) Alt Parçaları Teknik Resimleri



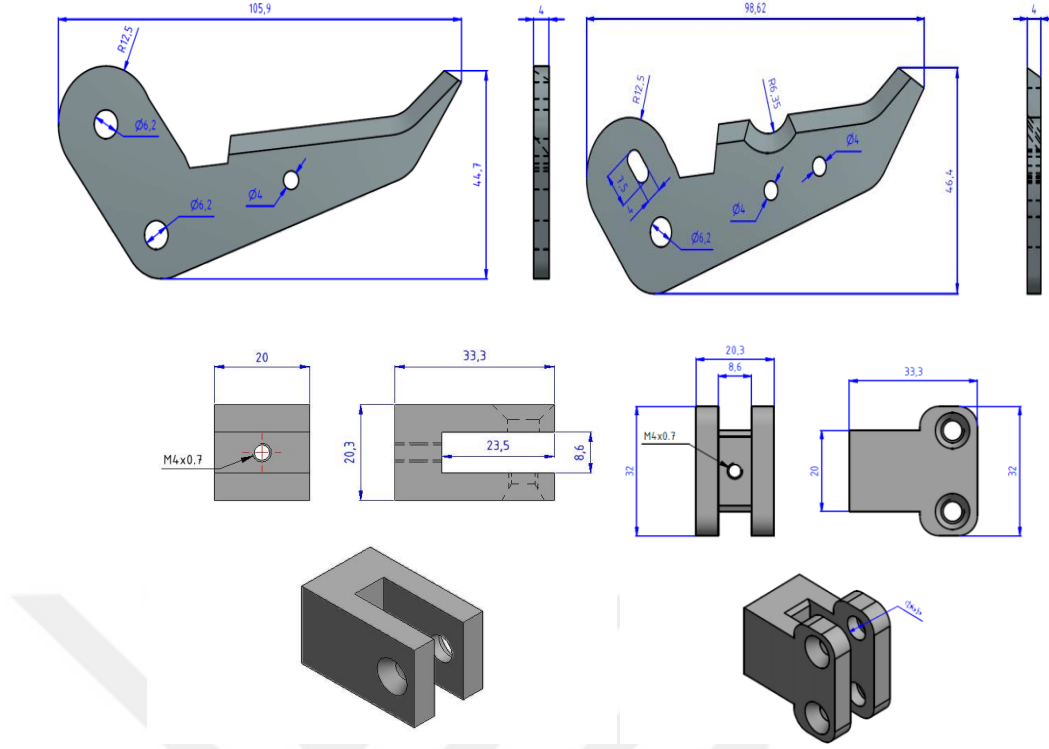
Şekil 3.19: Alt Parçaları Birleştirilmiş Robotik Kesici Sistemi (Tasarım-II)

Tasarım-I’de karşılaşılan hareket kısıtı sorununu çözmek için mafsal 2 çevresinde radyal yönde bulunan boşluk elips şeklinde genişletilmiştir. Radyal yönde genişletilen boşluk Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20: Mafsall-2 Çevresinde Radyal Yönde Genişletilen Boşluk

Ayrıca Şekil 3.21’de gösterilen robotik kesici merkez taşıyıcı parçası, tasarım-II’de her iki çeneye ayrı boşluk açılarak kuvvet iletimi hareket kısıtını çözebilecek şekilde sağlanmıştır. Tasarım-I ve yeni tasarım (Tasarım-II) arasındaki farklar Şekil 3.21’de detaylı olarak gösterilmiştir. Yapılan değişiklik sonrasında elde edilen robotik kesici sisteminin yeni tasarımı (tasarım-II) MSC ADAMS’ta kurulan model üzerinde analiz yapılmıştır.

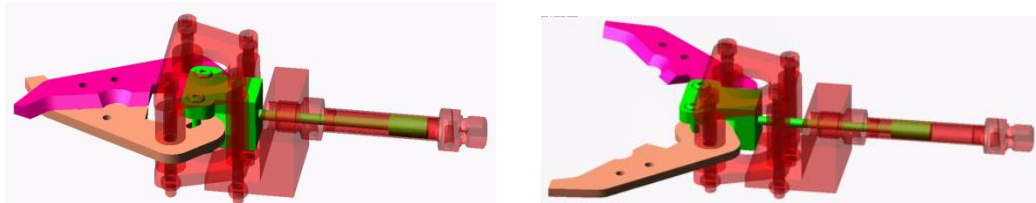


Şekil 3.21: Tasarım-I ve Tasarım-II Arasındaki Tasarımsal Farklar

3.3.2.1 MSC ADAMS'ta kurulan model için hareket tanımlanması

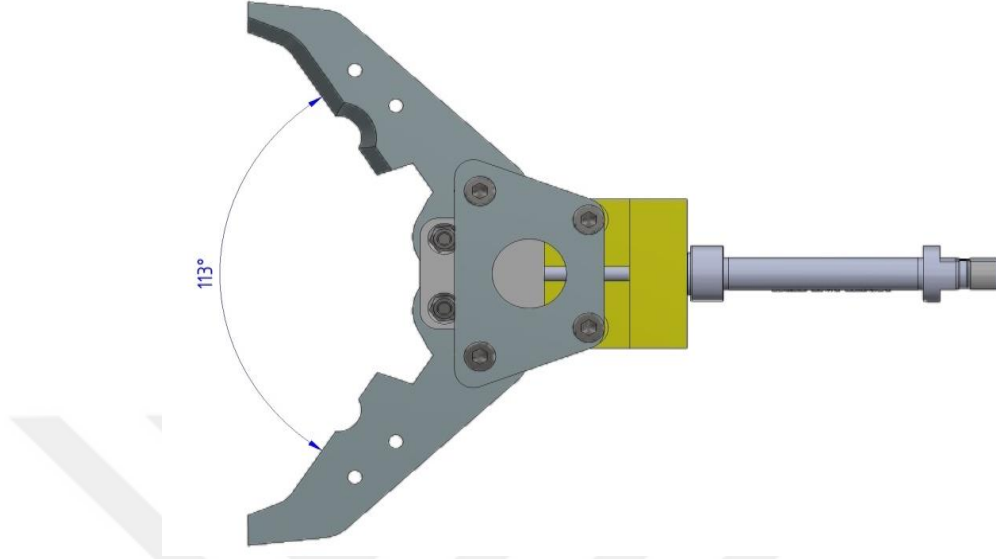
İnsansız su altı aracı için geliştirilen pnömatik tahrikli robotik kesici sisteminin dinamik hareketlerini incelemek için MSC ADAMS'ta kurulan model üzerinde piston üzerindeki kayar mafsalı 2 saniye içerisinde 23 mm X ekseninde doğrusal hareketini sağlayacak şekilde hareket tanımlanmıştır.

Mafsal 2 çevresinde bıçak ile piston arasında kayma ve dönme yönlerindeki serbestlikler açık bırakılması amacıyla oluşturulan boşluk, piston piminin hem dönmesini hem de açılan oluk içerisinde kayabilmesini sağlamış, Şekil 3.22'de gösterilmiştir.



Şekil 3.22: Robotik Kesici Tasarımı (Tasarım-II) Açık ve Kapalı Konumları

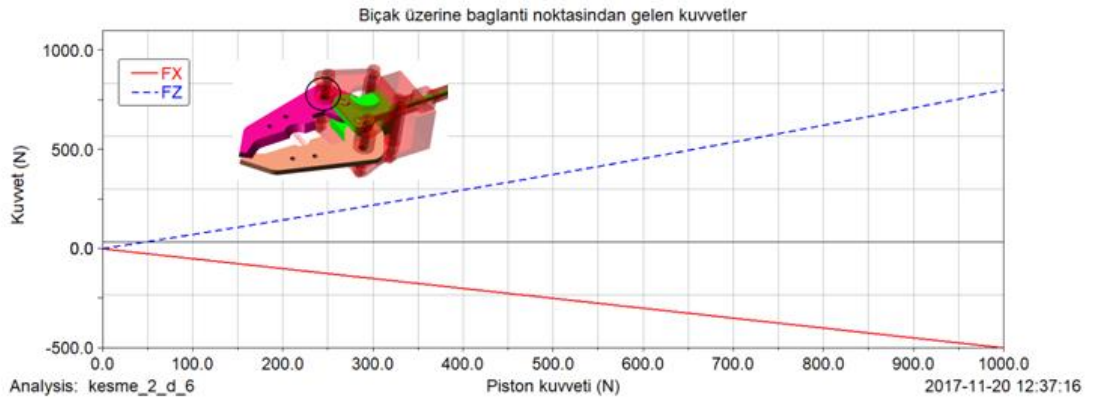
Yapılan değişikliklerle elde edilen tasarım-II açık konumda iken tasarım-I ile karşılaştırıldığında çene aralığının 109 dereceden 113 dereceye çıktığı tespit edilmiştir, Şekil 3.23’de robotik kesici çene açıklığı (Tasarım-II) gösterilmiştir.



Şekil 3.23: Robotik Kesici Çene Açıklığı (Tasarım-II)

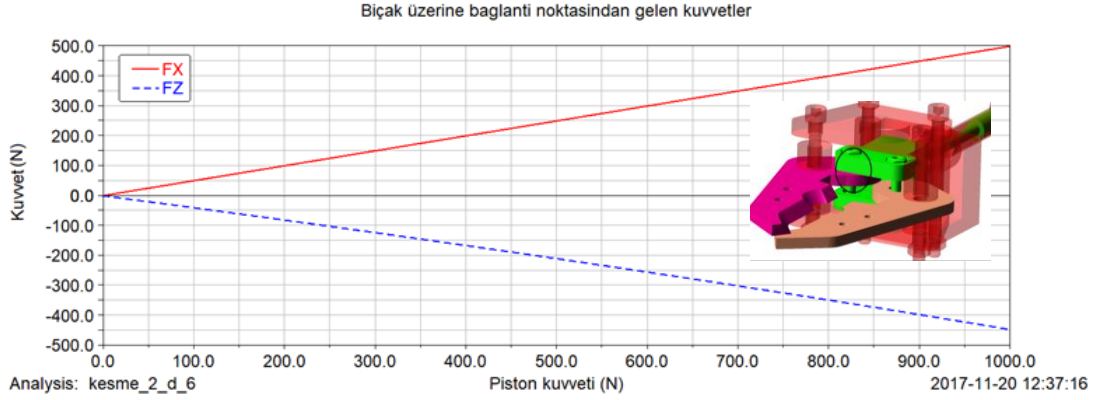
3.3.2.2 Mafsallara etki eden tepki kuvvetleri

Mafsal 1 ve mafsal 2’nin üzerine etki eden tepki kuvvetlerinin ulaştığı kuvvet değerleri MSC ADAMS kullanılarak tespit edilmiştir. Tasarımdaki simetri nedeniyle robotik kesici çene mekanizmasının sadece biri alınarak model çalıştırılmıştır. Doğrusal olarak hareket eden pistonu ait piston kuvvetinin mafsal 1 üzerinde oluşturduğu tepki kuvveti Şekil 3.24’de ve mafsal 2 üzerinde oluşturduğu tepki kuvveti Şekil 3.25’de verilmiştir.



Şekil 3.24: Piston Kuvvetinin Mafsal 1 Üzerinde Oluşturduğu Tepki Kuvveti

Şekil 3.24 detaylı olarak incelendiğinde piston kuvveti 400 N olduğunda mafsal 1 üzerinde oluşan tepki kuvvetinin 250 N olduğu görülmektedir. Benzer şekilde piston kuvvetinin mafsal 2 üzerinde oluşturduğu tepki kuvveti incelendiğinde piston kuvveti 400 N olduğunda mafsal 2 üzerinde oluşan tepki kuvvetinin 200 N olduğu görülmektedir.

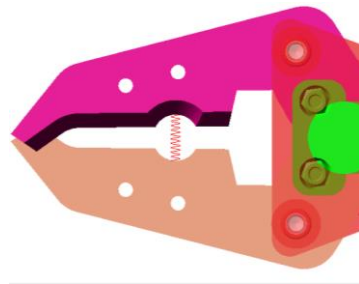


Şekil 3.25: Piston Kuvvetinin Mafsal 2 Üzerinde Oluşturduğu Tepki Kuvveti

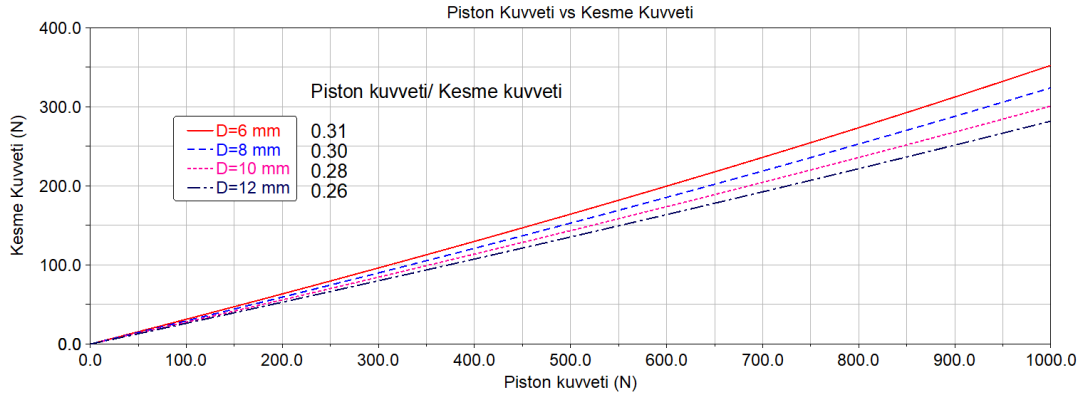
3.3.2.3 Kesme kuvvetinin hesaplanması

Kesme kuvveti robotik kesicinin kabloyu yakaladığı statik bir durumda incelenmiştir. Kesme kuvvetinin hesaplanması için robotik kesici Şekil 3.26'da gösterilen pozisyona getirilmiş ve gösterilen temas noktaları arasında kurulan bir yay modeli ile birbirine bağlanmıştır. Bu yay, robotik kesici modeline kesilecek olan halatın modellenmesi için eklenmiştir.

Piston üzerinden doğrusal olarak artan bir tahrik kuvveti tanımlanmış ve yay üzerindeki kuvvet kesme kuvveti olarak kullanılmıştır. Aynı işlem 6 mm, 8 mm, 10 mm ve 12 mm olmak üzere farklı halat çapları için pozisyon değiştirilerek tekrarlanmıştır, kesme kuvveti ve piston kuvveti karşılaştırma grafiği Şekil 3.27'de gösterilmiştir.

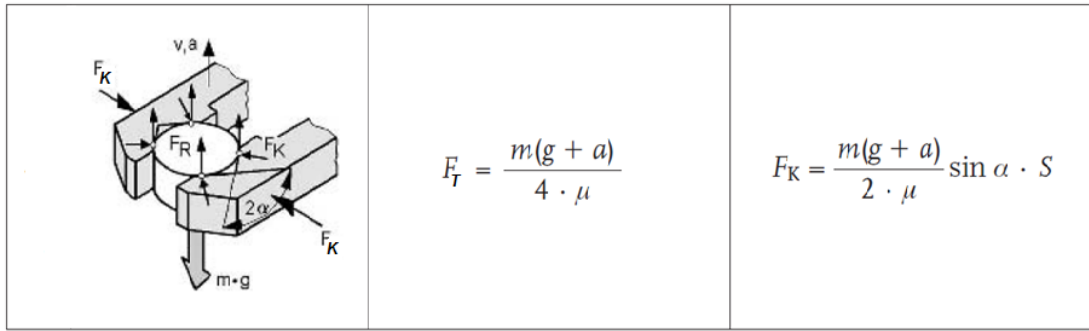


Şekil 3.26: Robotik Kesici Kesme Kuvveti Tespiti İçin Yay Tanımlaması



Şekil 3.27: Kesme Kuvveti ve Piston Kuvveti Karşılaştırma Grafiği

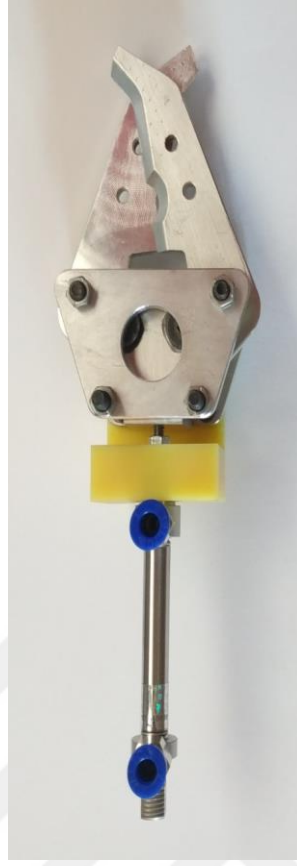
Mafsallardaki tepki kuvvetleri mekanizma simetrik olduğu için sadece tek bir taraf için verilmiştir. Mafsallardaki tepki kuvvetleri farklı kablo çapları için değişmediği için sadece 6 mm çap için belirlenmiştir. Su altı robotik kesici sisteminde kesilecek halat üzerine etki eden temas ve kesme kuvvetleri ile ilgili literatürde kullanılan temel formüller Şekil 3.28’de verilmiştir.



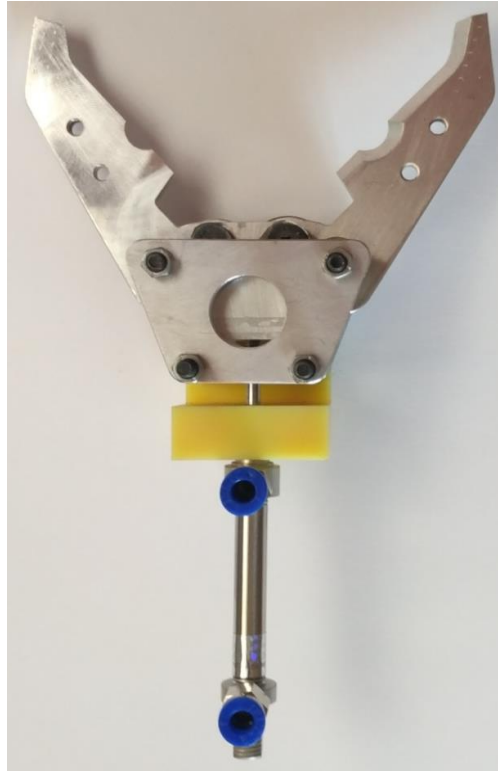
Şekil 3.28: Su Altı Robotik Kesici Sisteminde Etki Eden Temas ve Kesme Kuvvetleri Monkman ve diğ. (2007)

3.3.2.4 Robotik kesici sistemin prototipi (Tasarım-II)

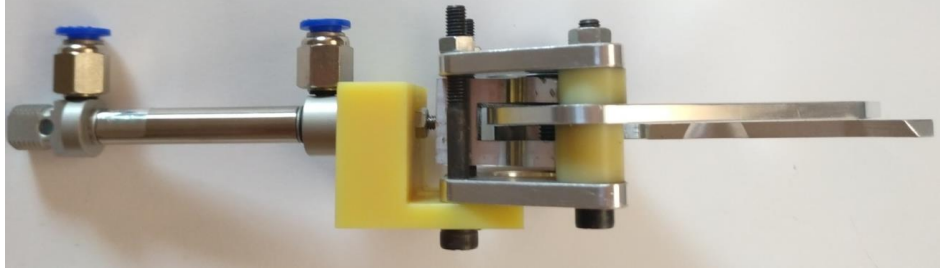
Tasarım-II’ye ait robotik kesici sisteminin prototipi Şekil 3.29, Şekil 3.30 ve Şekil 3.31’de farklı yönlerdeki görünümler ile gösterilmektedir.



Şekil 3.29: Robotik Kesici Prototipi (Üstten Kapalı Çene Görünümü)



Şekil 3.30: Robotik Kesici Prototipi (Üstten Açık Çene Görünümü)



Şekil 3.31: Robotik Kesici Prototipi (Yandan Görünüm)



4. PROTOTİPİ GELİŞTİRİLEN TASARIMIN MEKANİK TESTLERİ

Prototipi geliştirilen tasarım-II'ye ait mekanik testler IMU sensör ve yük hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan mekanik testlerde robotik kesiciye ait hız, pozisyon bilgileri tespit edilmiş ve çekme kuvveti testleri ile maksimum kesme kuvveti ölçülmüştür.

Inertial Measurement Unit (IMU), uzayda hareket eden cisme etki eden 3 eksen ivme ve 3 eksen dönme kuvvetlerini iki tip sensör ile ölçen cihazlara denir. Şekil 4.1'de verilen ve mekanik testlerde kullanılan IMU sensörünün çalışma gerilimi 12 volt, boyutları 58x58x22 mm, açısal çözünürlük 0,05 derecedir. IMU sensörü insansız su altı, insansız hava araçları gibi 3 boyutta hareket eden cihazların sabitletmesinde kullanılır. Tek bir elektronik modülde toplanan doğrusal ivme ve açısal hız verileri ana işlemciye gönderilir. Temelde iki farklı sensör barındırır, bu sensörlerden biri ivme ölçer, diğer sensör ise jiroskoptur. İvme ölçer üç yönde üç ayrı sinyal üretir. Fiziksel sınırlamalardan ve itici sistemden dolayı ivme ölçen bu sensördeki en kritik durum yer çekiminin etkisinde kalmasıdır. Sensör devamlı yer çekiminin etkisi altındadır. Jireskop ise IMU'nun içindeki ikinci sensördür. Jireskobun iki temel özelliği vardır. Jiroskoba yatay bir kuvvet uygulanırsa eksenini etrafında döner. Jireskobun diğer özelliği, dönüş eksenine sabit kalmasıdır. İvme ölçer ve jireskop tek başına kararlı ve güvenli veriler sağlayamazlar. Bu yüzden birbirlerini referans alarak iki sensör birleştirilir ve hız, pozisyon gibi bilgiler tek bir birimden, yani IMU'dan alınır (URL-10).

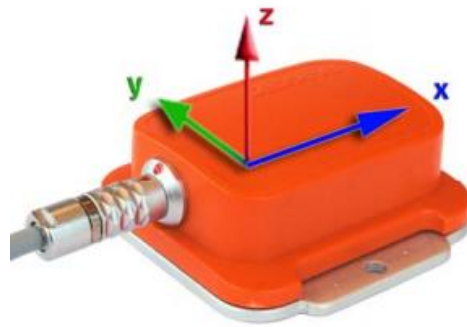
Geliştirilen su altı robotik kesici sisteminin IMU sensör ile üç boyutlu hız ve ivme verilerinin alınmasına yönelik deneysel düzenek Şekil 4.2'de verilmiştir. IMU sensör Şekil 4.1'de gösterilmiş ve yapılan testler sonucunda robotik kesici kablo kesilerek (açma- kapama) X eksenindeki IMU sensörü ile alınan hız verileri Şekil 4.3'de ve robotik kesici ile kablo kesilerek (kapama) X eksenindeki IMU sensörü ile alınan hız verileri Şekil 4.4'de, robotik kesici ile kablo kesilerek (açma) X eksenindeki IMU sensörü ile alınan hız verileri Şekil 4.5'de, robotik kesici ile kablo kesilerek (açma-kapama) y eksenindeki IMU sensörü ile alınan hız verileri Şekil 4.6'da, robotik

kesici ile kablo kesilerek (kapama) y eksenindeki IMU sensörü ile alınan hız verileri şekil 4.7’de, robotik kesici ile kablo kesilerek (2.açma) y eksenindeki IMU sensörü ile alınan hız verileri Şekil 4.8’de verilmiştir. Yapılan IMU sensör analizinde manipülör sisteminin dinamik davranışı ve hızı ($\int a. dt$) incelenmiş olup, bağlantı elamanlarındaki boşluk, sürtünme ve pnömatik sistemdeki nonlineer etkilerden dolayı oluşan sarsılmanın etkisi ile hızı ($\int a. dt$) pozitiften negatife doğru değişim göstermektedir.

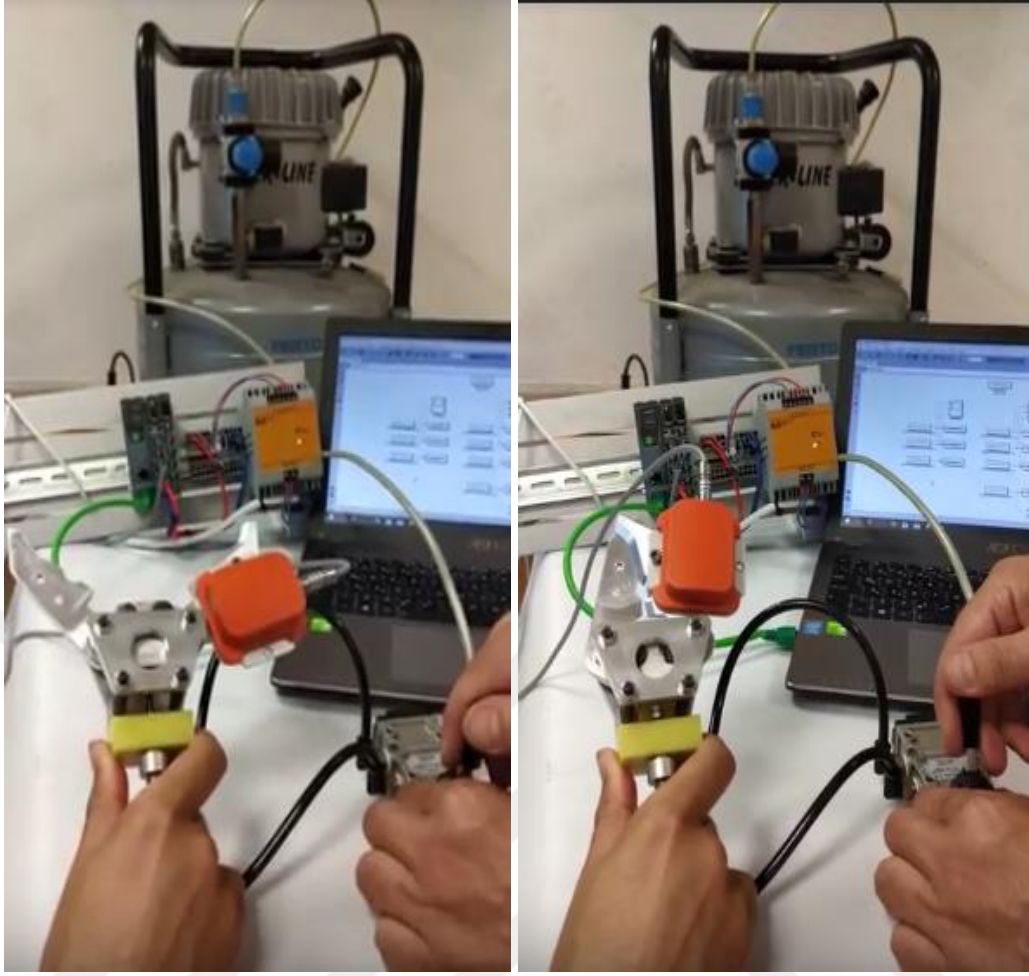
Çizelge 4.1’de belirtildiği üzere Y kesme ekseninde robotik kesici çeneleri kapama durumu için Y eksenindeki hızı ($\int a. dt$) 2.265228 m/sn. olmasına rağmen açma durumundaki hızı ($\int a. dt$) -1,56923 m/sn olduğu integral hesaplamalar sonucu tespit edilmiştir. Robotik kesici çenelerinin Y ekseninde kapama durumundaki hızının ($\int a. dt$) daha fazla olmasının sebebi Y ekseninde kesmenin gerçekleşmesidir.

Çizelge 4.1: Robotik Kesici Sistemin X ve Y Eksenlerindeki hızı ($\int a. dt$)

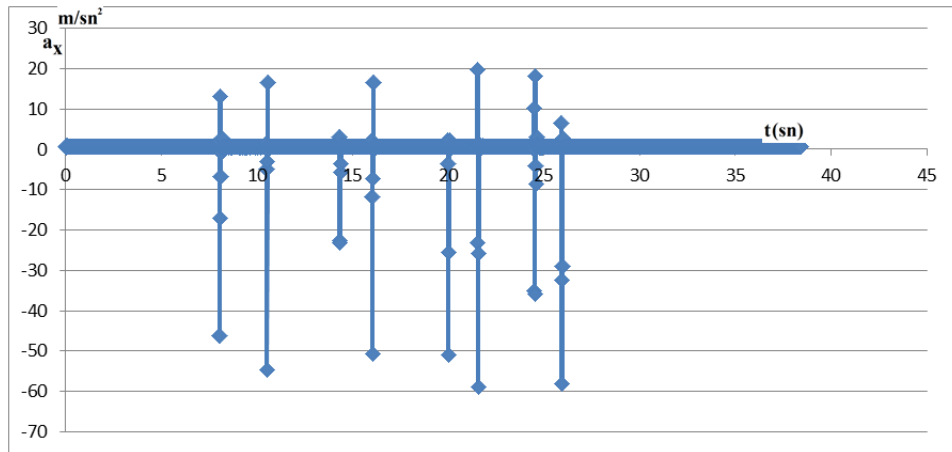
	Açma		Kapama	
	X	Y	X	Y
1. Bölge	-1,22894	-1,56923	-1,03279	2,265228
2. Bölge	0,250093	0,399893	0,195331	0,350553



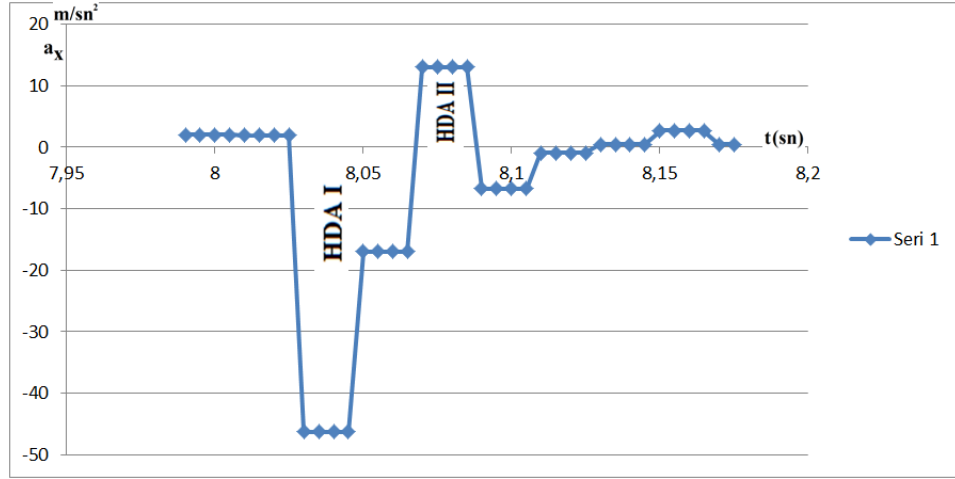
Şekil 4.1: IMU Sensörü (URL-11, 2018)



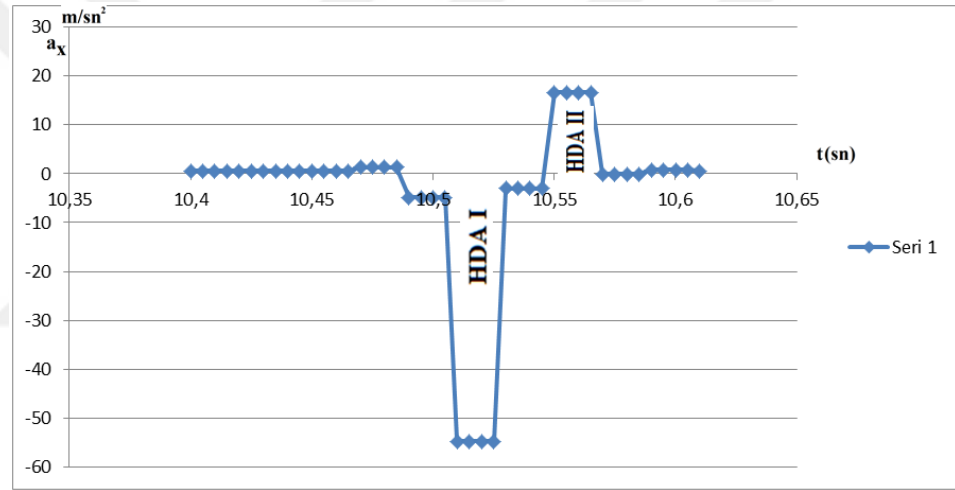
Şekil 4.2: IMU Sensörü Deney Düzeneği



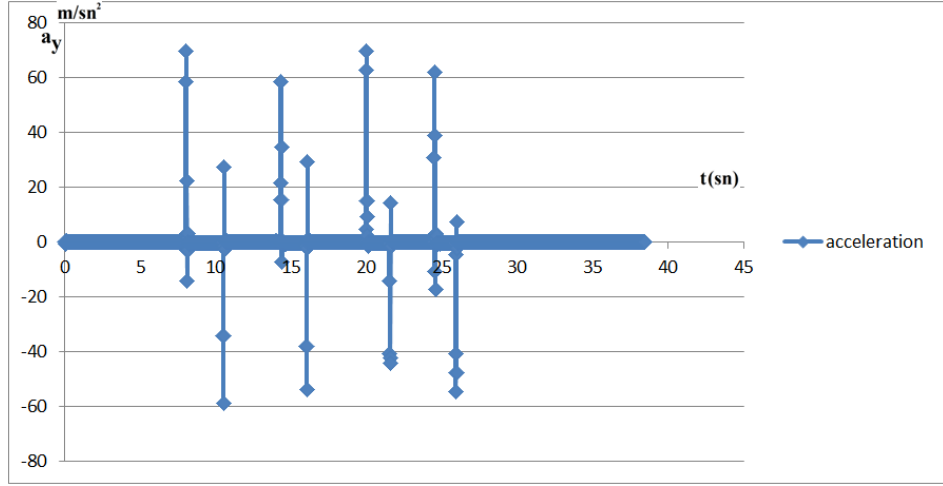
Şekil 4.3: Robotik Kesici İle Kablo Kesilerek (Açma- Kapama) X Eksenindeki IMU Sensörü İle Alınan İvme Verileri



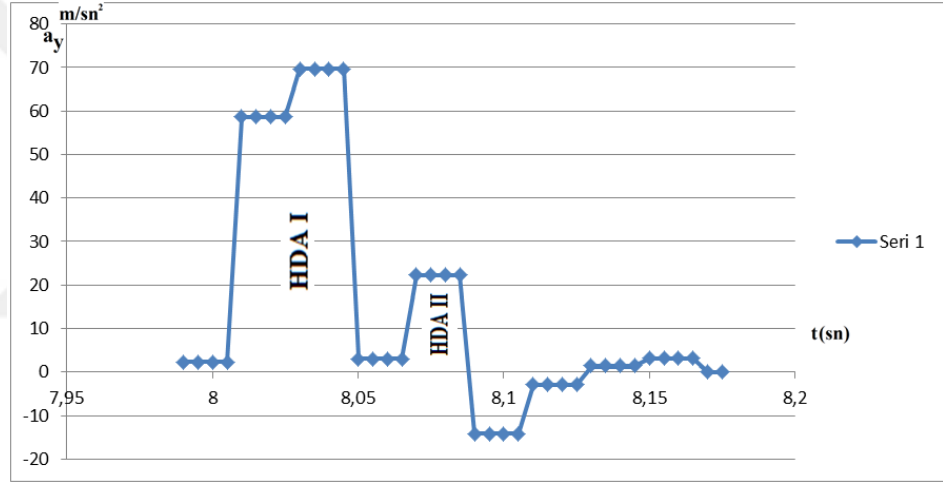
Şekil 4.4: Robotik Kesici İle Kablo Kesilerek (Kapama) X Eksenindeki IMU Sensörü İle Alınan İvme Verileri



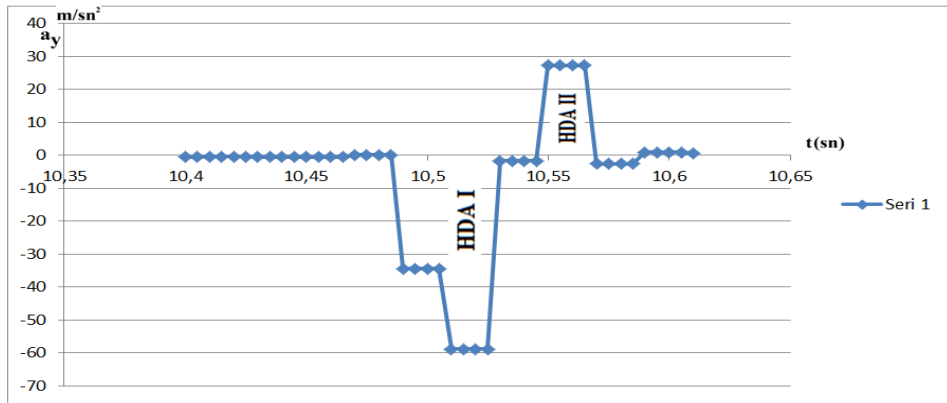
Şekil 4.5: Robotik Kesici İle Kablo Kesilerek (Açma) X Eksenindeki IMU Sensörü İle Alınan İvme Verileri



Şekil 4.6: Robotik Kesici İle Kablo Kesilerek (Açma- Kapama) Y Eksenindeki IMU Sensörü İle Alınan İvme Verileri



Şekil 4.7: Robotik Kesici İle Kablo Kesilerek (Kapama) Y Eksenindeki IMU Sensörü İle Alınan İvme Verileri



Şekil 4.8: Robotik Kesici İle Kablo Kesilerek (2.Açma) Y Eksenindeki IMU Sensörü İle Alınan İvme Verileri

Yük hücresi ile yapılan çekme kuvveti testlerine ait deney düzeneği Şekil 4.9’da verilmiştir. Yük hücresi ile yapılan çekme kuvvet testlerinde 0,8 MPa pnömatik basınç altında robotik kesici çenelerin maksimum 10 N kuvvet uygulayabildiği tespit edilmiştir. Şekil 3.27’de belirtilen kesme kuvveti ve piston kuvveti karşılaştırıldığında modelleme sonucuna benzer şekilde doğru orantıda artış gösterdiği görülmüştür. Yük hücresi kullanılarak yapılan çekme kuvveti testi Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9: Yük Hücresi İle Çekme Kuvveti Test Düzeneği



Şekil 4.10: Yük Hücresi İle Çekme Kuvveti Testi (0,8 MPa Akışkan Basınç Altında)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye'nin NATO'ya üye olması ve artarak devam eden askeri yardımlar ile 1973 ve 1975 yılları arasında Alman Deniz Kuvvetlerinde görevlerine son verilen mayın avlama gemileri, Türk Deniz Kuvvetlerine hibe edildi. Doksanlı yılların sonlarına kadar kullanılan bu gemiler, Fransa'dan alınan Engin ve Aydın sınıfı mayın avlama gemilerinin Türk Deniz Kuvvetlerinde envantere girmesi ile birlikte kullanım dışına çıkarıldılar. Günümüzde kullanılan 11 adet Engin ve Aydın sınıfı mayın avlama gemisi ile mayın karşı tedbirlerine yönelik görevlere devam edilmektedir. 1974 Kıbrıs Barış Harekatı ve sonrasında Amerika tarafından uygulanan silah ambargosu nedeni ile sistemlerini yurt içi kaynaklar kullanarak oluşturulmasına gereksinim duyan Türk Deniz Kuvvetlerinde yerli teçhizat ve silah sistemlerinin kullanılmasına yönelik çalışmalar hızlandırıldı.

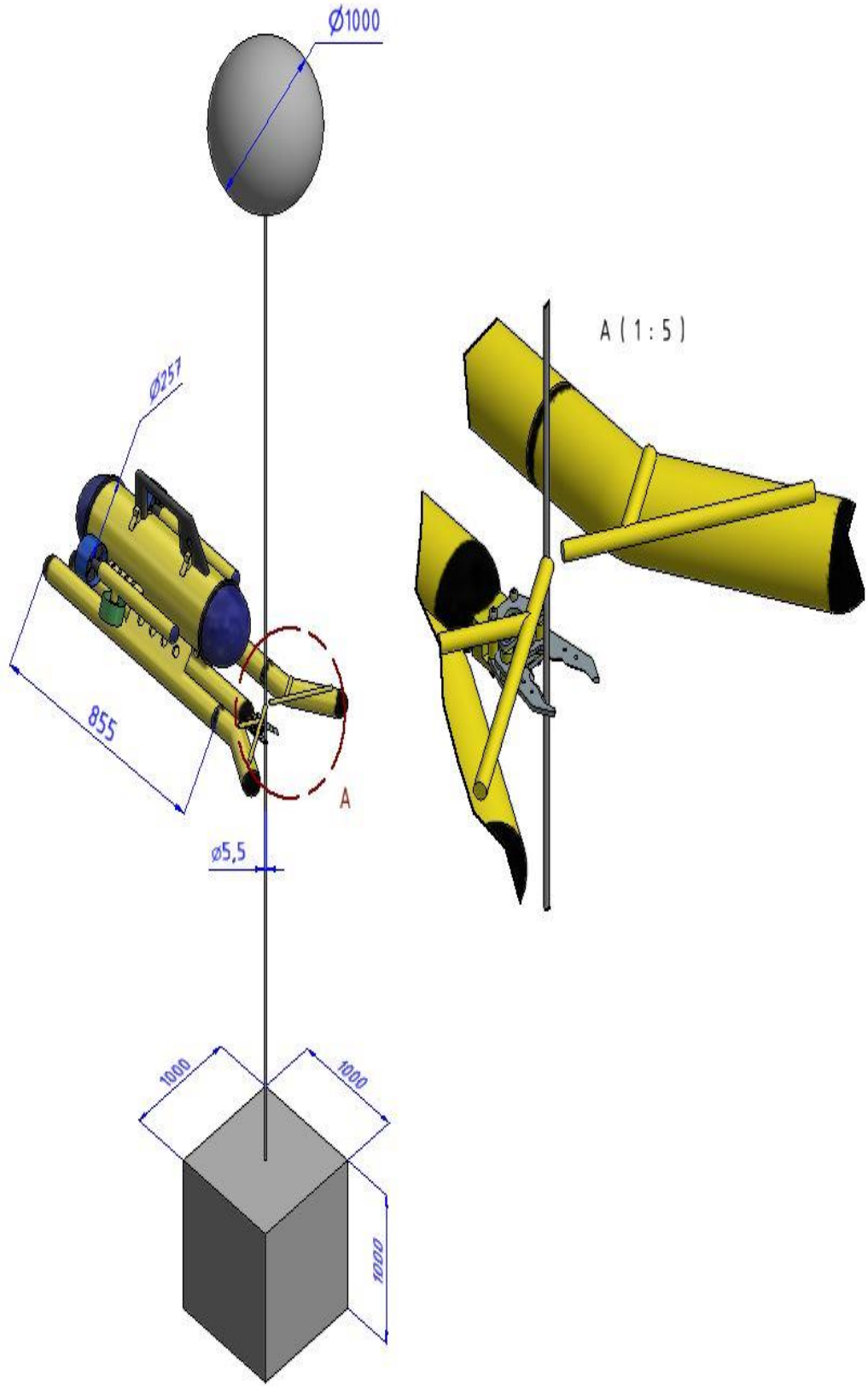
Savunma sanayinde mayınların imhasına yönelik yapılan çalışmalar stratejik öneme sahip konuların başında gelmektedir. SAS komandolarının yaptığı Şekil 5.1'de gösterilen mayın tespit ve imha işlemlerinde son derece tehlikeli bir patlayıcı olan mayına yaklaşılmakta ve el ile temas etmek zorunda kalınmaktadır.



Şekil 5.1: SAS Komandoları Mayın Tespit ve İmhası (URL-12, 2018)

İlerleyen teknolojik gelişmelerle beraber insansız mayın karşı tedbirlerinin yapılması ile ilgili birçok insansız su altı aracı geliştirilmiştir. Mayın avlama gemileri ile yapılan mayın karşı tedbirleri hem çok zaman alıcı hem de çok pahalıdır. Mayın avlama gemilerinin üzerindeki her bir mayın imha cihazının (PAP) yaklaşık maliyetinin 2.000.000 Euro olduğu ve buna yedek parça ve bakım masrafının eklendiğinde her birinin fiyatının yaklaşık 2.500.000 Euro mal olduğu düşünüldüğünde, milli bir mayın tespit ve imha sistemi yapılmasının önemi hem stratejik hem de ekonomik olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında içinde bulunulan koşullar değerlendirilerek Şekil 5.2’de gösterildiği gibi, insan gücü ile taşınabilir ve ekonomik bir insansız su altı aracına (ROV) cihazına entegre edilebilir pnömatik tahrikli robotik kesici sisteminin prototipi gerçekleştirilmiştir. Tasarım-I’in ağırlığı 280 gram, Tasarım-II’nin ağırlığı 256 gram olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.2: Geliştirilen Robotik Kesici Sisteminin Entegre Edildiği İnsansız Su Altı Aracının Teknik Resmi

Gerçekleştirilen ilk tasarımda (Tasarım-I) dinamik analiz sonucunda görülen hareket kısıtlılığı nedeniyle oluşan mekanik sorunlar tasarım-II üzerinde giderilerek çözüm sağlanmıştır. Tasarım-II kullanılarak gerçekleştirilen prototip başarıyla 1 mm çapındaki teli kesmektedir. Robotik kesicide kullanılan pnömatik pistonun, piston çapı 8 mm ve piston stroğu 25 mm'dir. Denklem (1)'e göre robotik kesicinin uçlarına etki eden alan hesaplanmıştır.

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (8 \cdot 10^{-2})^2}{4} = 50,24 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (1)$$

Kuvvet hesabı uygulanan basınç 8 bar kullanılarak Denklem (2)'de verildiği gibi, basınç değerinin alan değeri ile çarpılması suretiyle yapılmıştır.

$$F = P \cdot A \quad (2)$$

$$F = 0,8 \cdot 10^6 \cdot 50,24 \cdot 10^{-6} = 40,19 \text{ N}$$

MSC ADAMS'da kurulan modelden elde edilen Şekil 3.13'deki kesme kuvveti ve piston kuvveti karşılaştırma grafiği incelendiğinde Denklem (2)'den çıkarılan 40,19 N piston kuvvetine karşılık gelen kesme kuvveti 9,8 N olduğu görülmektedir. Modelde bulunan sonuçlar yapılan deneysel analizler ile karşılaştırıldığında deneyde piston tarafından uygulanan 40 N kuvvete karşılık 9,52 N değerinde bir kesme kuvveti elde edilmiştir. Kesme kuvveti, Şekil 3.27'deki gibi farklı halat çapları için (6, 8, 10, 12 mm) tekrarlanmış ve kesme kuvvetinin piston kuvvetine olan oranında önemli bir değişiklik görülmemiştir. Model ölçekli olarak geliştirilen robotik kesici sistem prototipi büyütüldüğünde ve çapı 125 mm ve silindir stroğu 320 mm olan bir pnömatik piston kullanıldığında 48250 N bir piston itme kuvveti ve buna bağlı yaklaşık 12000 N bir kesme kuvvetinin olacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca daha yüksek kesme kuvvetleri gerekirse sistem pnömatik tahrik yerine hidrolik tahrik mekanizması kullanılarak geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Antonelli, G., Caccavale, F., Chiaverini, S.** (2004) “Adaptive tracking control of underwater vehicle-manipulator systems based on the virtual decomposition approach”, *IEEE Tr. on Robotics and Automation*, Vol. 20, pp. 594–602.
- Backstein, G.** (1991) “Apparatus for destroying a moored mine”, United States Patent, Patent Number:5,042,387.
- Bryan, J.S., James, L., Bacot, Jr.** (2015) “Cable cutting system for retrieval of exercise mines and other underwater payloads”, United States Patent, Patent Number: US 9,199,707 B1.
- Cui, Y. ve Yuh, J.** (2003) “A unified adaptive force control of underwater vehicle-manipulator systems (UVMS)”, *Proc. Of IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, 1, 553–558.
- Çakır, O., Fil, C., Kaplanoğlu, E.** (2015) “EMG Kontrollü robotik kol ve simülasyonu”, otomatik kontrol ulusal toplantısı, TOK'2015, 10-12 Eylül, Denizli.
- Dilibal, S., Tabanlı, R.M., Dikicioglu, A.** (2004) “Development of shape memory actuated ITU robot hand and its mine clearance compatibility”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.155, 1390-1394.
- Dilibal, S., Sahin, H., Dursun, E., Engeberg, E.D.** (2017) “Nickel–titanium shape memory alloy-actuated thermal overload relay system design”, *Electrical Engineering*, Volume 99, Issue 3, pp 923–930.
- Dilibal, S. ve Engeberg, E.D.** (2015) “Finger-like manipulator driven by antagonistic nickel-titanium shape memory alloy actuators”, *International Conference on Advanced Robotics (ICAR)*, 152-157.
- Dilibal, S., Hamilton, R.F., Lanba A,** (2017) “The effect of employed loading mode on the mechanical cyclic stabilization of NiTi shape memory alloys”, *Intermetallics* 89, 1-9.
- Dilibal, S., Sahin, H., Celik, Y.** (2018) “Experimental and numerical analysis on the bending response of the geometrically gradient soft robotics actuator”, *Archives of Mechanics*, 5(70), 1-12.
- Fard, M.J., Ameri, S., Ellis, R.D., Chinnam, R.B., Pandya, A.K., Klein, M.D.** (2018) “Automated robot-assisted surgical skill evaluation: predictive analytics approach” *Int J Med Robot.*
- Hedbawny, E., Cecil, N.G., Aubrey, G.H.** (1974) “Variable depth moored sweep”, United States Patent, Patent Number: 3,842,770.
- Inoue, T., Shibuya, K., Nagano, A.** (2010) “Underwater robot with a buoyancy control system based on the spermaceti oil hypothesis - development of

the depth control system”, The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Taipei, Taiwan, 18-22, October.

- Ishitsuka, M., Sagarat, S., Ishii, K.** (2004) “Dynamics analysis and resolved acceleration control of an autonomous underwater vehicle equipped with a manipulator”, Int. Symp. Underwater Technology, 277–281.
- James, W., Christopher, N., Christopher, L.** (2016) “Moveable cutters and net penetrating systems and methods” United States Patent, Patent Number: US 2016/0207598 A1.
- Kahya, O.** (2014) “Kivi hasatı için robotik tutucu tasarımı”, SDU International Journal of Technologic Sciences, Vol. 6, No 2, pp. 18-35, August.
- Kensei, I., Haruki, N., Norimitsu, S., Mizuho, S., Sadao, K., Shinji, Atsushi, M.** (2014) “Preliminary experiments of a human-portable underwater gripper robot for dexterous tasks”, DOI:10.1109/OCEANS-TAIPEI.2014.6964491.
- Kerr, J. ve Roth, B.** (1986) Analysis of multifingered hands, “International journal robotics research”, Vol. 4, no: 4, pp 3-17.
- Korkmaz, O., İder, S.K., Özgören, M.K.** (2013) “Bir otonom sualtı aracı manipülatör sisteminin yörünge takip kontrolü”, Savtek Makalesi, Cilt 3, Sayı 6, Aralık.
- Mahesh, H., Yuh, J., Lakshmi, R.** (1991) “A coordinated control of an underwater vehicle and robot manipulator”, Journal of Robotic Systems, Vol. 8, No. 3, pp. 339–370.
- Nels, N.N.** (2015) “Self-resetting automatic cable cutter”, United States Patent, Patent Number: US 9,193.422 B1.
- Peduk, G., Dilibal, S., Harrysson, O., Ozbek, S., West, H.** (2018) “Characterization of Ni–Ti alloy powders for use in additive manufacturing”, Russian Journal of Non-Ferrous Metals 59 (4), 433-439.
- Tüz, M.A.** (1994) “Design and construction of multipurpose robot gripper”, Y. Lisans Tezi, ODTÜ.
- Yakut, M., Yılmaz, S., İnce, S., Otçu, M., Aygün, E.** (2015) “derinlik ve yön kontrol uygulamaları için sualtı aracı tasarımı”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part: C, Tasarım Ve Teknoloji*, GU J Sci Part:C,3(1):343-355. uldsar.
- Wit, C., Diaz, E., Perrier, M.** (1998) “Robust nonlinear control of an underwater vehicle/manipulator system with composite dynamics”, Proc. of IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, Leuven, Belgium, pp. 452–457.

İnternet Kaynakları

Url-1<<https://www.sualtihaberleri.wordpress.com/2014/11/26/insansiz-sualti-araci-tespit-harp-dalgiclari-imha-etti>>, alındığı tarih: 14 Aralık 2017.

Url-2<<https://www.yenisafak.com/gundem/bogazda-bulunan-mayin-imha-edildi-618340>>, alındığı tarih:15 Aralık 2017

Url-3<<https://www.meretmarine.com/fr/content/plongee-dans-le-monde-de-la-guerre-des-mines>>, alındığı tarih: 10 Ocak 2018.

Url-4<<https://www.defenseissues.net/2017/05/01/naval-mines/>>, alındığı tarih: 22 Ocak 2018

Url-5<<https://www.meretmarine.com/fr/content/plongee-dans-le-monde-de-la-guerre-des-mines>>, alındığı tarih: 22 Ocak 2018

Url-6<<https://www.oceaneering.com/datasheets/ROV-Millennium-Plus.pdf>>, alındığı tarih: 24 Kasım 2017

Url-7<<https://www.festo-didactic.com/tr-tr/egitim-sistemleri/egitim-setleri/accessories/general/kompresoer.htm?fbid=dHIudHIuNTc2LjI0LjE4LjU1NS4zMjE0>>, alındığı tarih: 22 Şubat 2018

Url-8<http://www.ilerihidrolik.com/urunler/pnomatik/az-pneumatica/surgulu-valfler/manuel-kumandali/by,category_name/results,41-56.html>, alındığı tarih: 22 Ocak 2018

Url-9<<http://www.pemaks.com.tr/urunler.asp?b=urundetay&KatID=3&ID=12>>, alındığı tarih: 22 Ocak 2018

Url-10<[https://www.elektrikport.com/universite/inertial-measurement-unit-\(imu\)-nedir/17369#ad-image-0](https://www.elektrikport.com/universite/inertial-measurement-unit-(imu)-nedir/17369#ad-image-0)>, alındığı tarih: 19 Ağustos 2018.

Url-11<https://www.researchgate.net/figure/IMU-Xsens-MTx-source-Xsens-2005_fig2_263470207>, alındığı tarih: 16 Şubat 2018

Url-12<<https://www.royalnavy.mod.uk/careers/roles-and-specialisations/services/surface-fleet/mine-clearance-diver>>, alındığı tarih: 20 Aralık 2018



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Güvenç Sorarlı
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.09.1972, Malatya
E-posta : guvenc.sorarli@gedik.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Lisans : 2012, Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme
Yüksek Lisans :

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

7 yıl Mayın Filo Komutanlığı, Gemi Makineleri ve Yüksek Basınç Hava Kompresörleri

3 yıl GATA Haydarpaşa Asker Hastanesi, Deniz ve Sualtı Hekimliği Basınç Odası Tedavi Merkezi,

11 yıl Derin Su Dalgıç Baş Öğretmenliği / Eğitimci, Spor ve Havuz Eğitimci/Amirliği

3 Yıl İstanbul Shipyard Tersanesi, Askeri Dalış ve Kurtarma Gemisi TCG ALEMDAR Gemi Kıdemlisi

3 Yıl İstanbul Gedik Üniversitesi Su Altı Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürü.

3 Yıl Öğretim Görevlisi İstanbul Gedik Üniversitesi MYO (Su Altı Teknolojileri Programı)

Sertifika Bilgileri ;

Bell / Saturation Dive Supervisor

ADCI – Association of Diving Contractors International Belge No:S 01661301

Mixed Gas Diving Supervisor

ADCI – Association of Diving Contractors International Belge No:S 016611301

Dalış Öğretmeni, Birinci Sınıf Dalgıç

T.C Ulaştırma, Denizcilik, ve Haberleşme Bakanlığı Belge No: DA 948

Dalış Amiri (Supervisor) Birinci Sınıf Dalgıç

T.C Ulaştırma, Denizcilik, ve Haberleşme Bakanlığı Belge No: DA 845

Birinci Sınıf Dalgıç (Derin Su Dalgıçı)

Deniz Kuvvetleri 22.04.1996 - 03.01.1997 (970 Hours)

Diver First Class (Birinci Sınıf Derin Su Dalgıçı)

US Navy (Amerika Deniz Kuvvetleri) 05.07.2001 - 31.08.2001

HEO2 Diver (Helyum Oksijen Dalgıçı)

US Navy (Amerika Deniz Kuvvetleri) 01.09.2001 - 21.09.2001

Tahribatsız Muayene Personeli VT2 (QUALIFICATION CERTIFICATE OF NDT PERSONNEL) Lisans NDTC/2016-254

Tahribatsız Muayene Personeli MT2 (QUALIFICATION CERTIFICATE OF NDT PERSONNEL) Lisans NDTC/2016-217

Tahribatsız Muayene Personeli UT2 (QUALIFICATION CERTIFICATE OF NDT PERSONNEL) Lisans NDTC/2016-207

Tehlikeli ve çok Tehlikeli İşlerde Kaynakçı

Lisans 27088720160048032102

Uluslararası Kaynak İnspektörü IIW

Diploma No : TR/IWI-B/01-060317-13

Stratejik Yönetim

Deniz Kuvvetleri - 02.2008

Temel Kalite Kavramları Yönetimi

Deniz Kuvvetleri - 05.2006

Seminerler ve Kurslar ;

HEO2 Diver (Helyum Oksijen Dalgıcı)

US Navy (Amerika Deniz Kuvvetleri) 01.09.2001 - 21.09.2001 (260 Hours)

Diver First Class

US Navy (Amerika Deniz Kuvvetleri) 05.07.2001 - 31.08.2001 (790 Hours)

2* Dalış Eğitmeni

Türkiye Sualtı Sporları Federasyonu (03.01.1997)

ROV (Remote Operated Vehicle) Uzaktan Kumandalı Su Altı Aracı

Gate Elektronik 11.09.2013 - 21.11.2013 (240 Hours)

Sualtı Kaynak Makinası ve Kaynakçılığı Kursu

Oceanworks aykor 07.10.2013 - 11.10.2013 (40 Hours)

Side Scan Sonar (Yandan Taramalı Sonar) Kursu

Deniz Kuvvetleri 05.03.2013 - 09.03.2013 (80 Hours)

Eğitim Yöneticisi ve Teknik Öğretmen Yetiştirme

Hava Kuvvetleri 16.03.2012 - 06.04.2012 (160 Hours)

Dalış Malzemeleri Teknisyen

Deniz Kuvvetleri 31.10.2011 - 04.11.2011 (40 Hours)

Altın Can Kurtaran

Türkiye Sualtı Sporları Federasyonu (22.02.2008)

Arama Kurtarma Uzman Dalgıcı

Türkiye Sualtı Sporları Federasyonu (17.04.2012)

Türkiye Yelken Federasyonu

Lisans No: F-34-211

Master Scuba Diver

NAUI (6.6.2011)

Emniyet ve Kaza Önleme

Deniz Kuvvetleri 02.06.2003 - 20.06.2003 (144 Hours)

Fotoğraf ve Video Çekim Tekniği

Deniz Kuvvetleri 03.03.2003 - 14.03.2003 (88 Hours)

Yat Kaptanlığı

T.C Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı Belge No: K401340101

Ödüller ve Başarılar

- (Toplam Öğretmen Dalışı :450 Saat) görevi başarı ile tamamlanmış olması nedeniyle, Eğitim ve Öğretim Başarı Şerit Rozeti (Oramiral E.Murat BİLGEL Deniz Kuvvetleri Komutanı) – 2013
- Görevde gösterilen üstün başarı takdiri.(Deniz Kuvvetleri Komutanı) – 2010
- Görevde gösterilen üstün başarı takdiri.(Sualtı Eğitim Merkezi Komutanı) – 2007
- Görevde gösterilen üstün başarı takdiri.(Kurtarma ve Sualtı Komutanı) – 2005

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

İstanbul Gedik Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi tarafından “Su Altı Pnömatik Robotik Kesici Prototipinin” patent başvurusu yapılmıştır.

Başvuru No: 2013/02 - 31.05.2019