

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNSANSIZ BİR SUALTI KEŞİF ARACININ SİSTEMLERİNİN  
İNCELENMESİ VE MATEMATİKSEL MODELİNİN OLUŞTURULMASI**

**Fatih ALBAYRAK**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Necati ULUSOY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA-2019**



© 2019 [Fatih ALBAYRAK]

## TEZ ONAYI

**Fatih ALBAYRAK** tarafından hazırlanan " **İnsansız Bir Sualtı Keşif Aracının Sistemlerinin İncelenmesi ve Matematiksel Modelinin Oluşturulması** " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

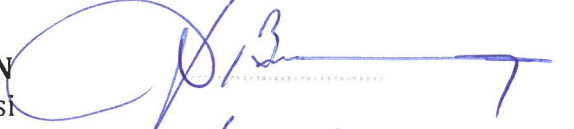
**Danışman**

**Dr. Öğr. Üyesi Necati ULUSOY**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



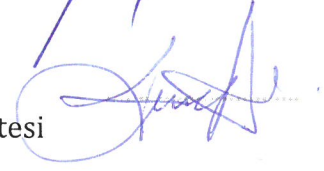
**Jüri Üyesi**

**Dr. Öğr. Üyesi Dinçer BURAN**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Dr. Öğr. Üyesi Lokman YÜNLÜ**  
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



**Enstitü Müdürü Doç Dr. Şule Sultan UĞUR**

.....

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Fatih ALBAYRAK**



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vvi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Sualtı Aracının Bileşenleri .....	2
1.2. İnsansız Sualtı Keşif Araçları Tarihi.....	3
1.2.1. CURV-II.....	4
1.2.2. CUAUV .....	5
1.3. İnsansız Sualtı Araçlarının Genel Özellikleri .....	5
1.3.1. Teknoloji.....	6
1.3.2. Modelleme .....	6
1.3.3. Navigasyon, kontrol ve haberleşme sistemleri .....	7
1.4. Ana parçalar .....	7
1.4.1. Gövde .....	7
1.4.2. Mekanik unsurlar .....	8
1.4.3. Makara-kablo sistemi .....	8
1.4.4. Manipülatör ve robot kollar .....	8
1.4.5. İletişim.....	9
1.4.6. Sensör ve kullanım unsurları .....	9
1.4.7. Motorlar .....	9
1.4.8. Güç kaynağı .....	9
1.4.9. Yüzey kontrol.....	10
1.5. Günümüzdeki Durum .....	10
1.5.1. Dünyadaki durum .....	10
1.5.2. Ülkemizdeki durum.....	11
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	14
3.1. Matematiksel Modelin Oluşturulması.....	14
3.1.1. Doğrusal Hareket Denklemleri .....	14

3.2. İnsansız Sualtı Aracı Modeli.....	18
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	26
4.1. İnsansız Sualtı Aracı Modelinin Basınç Analizi.....	26
4.2. İnsansız Sualtı Aracı Modelinin Doğrusal Hareket Analizi .....	35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	38
KAYNAKLAR .....	40
ÖZGEÇMİŞ.....	41



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### İNSANSIZ BİR SUALTI KEŞİF ARACININ SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE MATEMATİKSEL MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Fatih ALBAYRAK

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Necati ULUSOY

Bu tez çalışmasında 6 serbestlik derecesine sahip bir sualtı aracının doğrusal hareketinin matematiksel modellenmesi için literatürde yer alan sualtı araçları incelenmiştir. İncelenen sualtı araçları ışığında bu çalışmada yer alan sualtı aracının matematiksel modelini oluşturmak için dinamik hareket denklemleri elde edilmiştir. Matematiksel model oluşturulduktan sonra simülasyonları gerçekleştirmek için bir yazılım programından faydalanılmıştır. Oluşturulan bu matematiksel model yazılım programına aktarılarak elde edilen çıktılar incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sualtı aracı, insansız sualtı aracı, matematiksel modelleme, basınç analizi.

2019, 41 sayfa

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **AN INVESTIGATION OF UNMANNED UNDERWATER EXPLORATION VEHICLE SYSTEMS AND ESTABLISHMENT OF MATHEMATICAL MODEL**

**Fatih ALBAYRAK**

**Süleyman Demirel University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. Necati ULUSOY**

In this thesis, underwater vehicles in the literature have been examined in order to form a mathematical model of an underwater vehicle with six degrees of freedom. In the light of the underwater tools examined, the mathematical model of the underwater vehicle and dynamic motion equations were obtained. After the mathematical model was created, a software program was used to perform the simulations. This mathematical model was transferred to the software program and the outputs were examined.

**Keywords:** Underwater vehicle, unmanned underwater vehicle, mathematical modeling, pressure analysis.

**2019, 41 pages**

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmamda bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren, her türlü zorluğu aşmamda yardımcı olan saygıdeğer Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Necati ULUSOY'a teőekkürlerimi sunarım. Literatür araştırmalarımnda yardımcı olan Mekatronik Mühendisi Arş. Gör. Nejat TÜKENMEZ'e, tez çalışmalarımnda yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Makina Mühendisi Çağdaş ŐARMAN ve Kimya Mühendisi Oğuz Söğüt'e teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan, maddi ve manevi destek olan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Fatih ALBAYRAK  
ISPARTA, 2019



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Gelibolu isimli insansız sualtı aracı .....	1
Şekil 1.2. İnsansız sualtı keşif aracı bileşenleri .....	2
Şekil 1.3. CURV-II .....	4
Şekil 1.4. Cornell üniversitesi tarafından geliştirilen sualtı aracı .....	5
Şekil 3.1. Dünya eksen takımı .....	15
Şekil 3.2. Gövde sabitli eksen takımı .....	15
Şekil 3.3. Sualtı aracı modeli.....	24
Şekil 3.4. Gövdeye 1 MPa değerinde uygulanan basınç .....	24
Şekil 3.5. Gövdeye 2 MPa değerinde uygulanan basınç .....	25
Şekil 3.6. Modele uygulanan mesh (çözüm ağı) yöntemi .....	25
Şekil 4.1. 100 metrede sıkıştırılmış cam gövde için stres analiz .....	26
Şekil 4.2. 100 metrede sıkıştırılmış cam gövde için yer değiştirme analizi .....	27
Şekil 4.3. 100 metrede polietilen gövde için gerilme analizi .....	27
Şekil 4.4. 100 metrede polietilen gövde için yer değiştirme analizi .....	28
Şekil 4.5. 200 metrede sıkıştırılmış cam gövde için stres analizi .....	29
Şekil 4.6. 200 metrede sıkıştırılmış cam gövde için yer değiştirme analizi .....	29
Şekil 4.7. 200 metrede polietilen gövde için stres analizi .....	30
Şekil 4.8. 200 metrede polietilen gövde için yer değiştirme analizi .....	30
Şekil 4.9. 300 metrede sıkıştırılmış cam gövde için stres analizi .....	31
Şekil 4.10. 300 metrede sıkıştırılmış cam gövde için yer değiştirme analizi .....	32
Şekil 4.11. 300 metrede polietilen gövde için stres analizi .....	32
Şekil 4.12. 300 metrede polietilen gövde için yer değiştirme analizi .....	33
Şekil 4.13. Sıkıştırılmış cam gövdenin derinliğe göre yer değiştirme grafiği.....	34
Şekil 4.14. Polietilen cam gövdenin derinliğe göre yer değiştirme grafiği .....	34
Şekil 4.15. Sualtı aracının x eksenindeki konum zaman grafiği.....	35
Şekil 4.16. Sualtı aracının x eksenindeki hız zaman grafiği.....	36
Şekil 4.17. Sualtı aracının x eksenindeki sapma hızı zaman grafiği .....	36
Şekil 4.18. Sualtı aracının x eksenindeki zamana göre yalpalama açısı grafiği ...	37
Şekil 4.19. Sualtı aracının x eksenindeki zamana göre sapma açısı grafiği.....	37

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Altı serbestlik dereceli hareketin eksenlerdeki tanımı.....	16
Çizelge 3.2. Paslanmaz çelik 1.4306 (X2CrNi19-11) özellikleri .....	21
Çizelge 3.3. Yatak özellikleri.....	21
Çizelge 3.4. Sıkıştırılmış cam özellikleri.....	22
Çizelge 3.5. Sıkıştırılmış cam tüp özellikleri .....	22
Çizelge 3.6. Polietilen çapraz bağlı özellikleri .....	22
Çizelge 3.7. Polietilen saydam tüp özellikleri .....	23
Çizelge 3.8. Sualtı aracının fiziksel parametreleri.....	28



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

EPSX	Seçili referans geometrisinin X eksenindeki gerinimi
EPSY	Seçili referans geometrisinin Y eksenindeki gerinimi
EPSZ	Seçili referans geometrisinin Z eksenindeki gerinimi
GMXY	Referans geometrisinin YZ düzleminde Y yönünde yırtılma gerinimi
GMXZ	Referans geometrisinin YZ düzleminde Z yönünde yırtılma gerinimi
GMYZ	Referans geometrisinin XZ düzleminde Z yönünde yırtılma gerinimi
$J_2$	Sapma tensörünün ikinci katsayısı
k	Sınır değeri
L	Modelin karakteristik uzunluğu, mm
$X_c$	Katı modelin X eksenindeki merkez koordinatı
$Y_c$	Katı modelin Y eksenindeki merkez koordinatı
$Z_c$	Katı modelin Z eksenindeki merkez koordinatı
$X_i$	İ düğümünün X koordinatı
$Y_i$	İ düğümünün Y koordinatı
$Z_i$	İ düğümünün Z koordinatı
$\vec{F}_i$	Toplam kuvvet, N
$\vec{r}_i$	Konum vektörü
$\vec{\omega}$	Açısal hız
$\vec{v}_i$	Hız vektörü
$m_i$	Kütle
$\vec{v}_0$	Gövde sabitli eksene göre hız vektörü
$\vec{r}_G$	Gövde sabitli eksene ağırlık merkezi vektörü
$\vec{F}$	Dış kuvvet vektörü
$x_g$	Ağırlık merkezinin x eksenine göre konumu
$y_g$	Ağırlık merkezinin y eksenine göre konumu
$z_g$	Ağırlık merkezinin z eksenine göre konumu
$\sigma_v$	Von mises gerilmesi, $N/mm^2$
$\sigma_1$	Birinci eksende meydana gelen ana gerilme, $N/mm^2$
$\sigma_2$	İkinci eksende meydana gelen ana gerilme, $N/mm^2$
$\sigma_3$	Üçüncü eksende meydana gelen ana gerilme, $N/mm^2$
$\epsilon_1$	Birinci ana yöndeki normal gerinim
$\epsilon_2$	İkinci ana yöndeki normal gerinim
$\epsilon^*$	Ortalama normal gerinim

## 1. GİRİŞ

Dünyanın dörtte üçünü denizlerin ve okyanusların oluşturmasına rağmen insanlar tarafından kara ve atmosfer kadar ilgi görmemektedir. Okyanuslardaki tüm derinlikler keşfedilmemiş, derinliklerde yaşayan farklı organizmalar ve maden kaynakları konusunda yeterli bilgiye ulaşılamamıştır. Sualtı araçları derinliklerin araştırılmasında, yeni canlılık ve maden keşfinde önemli rol oynamaktadır. Bu amaçla üretilmiş uzaktan kontrollü yüzlerce sualtı keşif aracı (ROV) geliştirilmiştir. Bu süreçte edinilen deneyimler; haberleşme güçlükleri ve sıkıntılar bu araçların insansız daha güvenli olacağını ortaya çıkarmıştır

Sualtı keşif aracında gelinen nokta insan müdahalesi olmadan sensörler yardımı ile kendi kendine karar verebilen yapay zekalı robotlardır. Araştırma ve keşif amaçlı kullanılmak üzere yüzlerce farklı modelde insansız sualtı aracı üretilmiştir. Sualtı robotunda modül ve malzeme ar-ge süreci ise daha güvenli sualtı araçları (ROV) oluşturmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Gelibolu isimli insansız sualtı aracı (Marchand, 2017)

Sualtı araştırmaları ve bu konuda yapılan çalışmalar, günümüzde doğal kaynakların araştırılması, inşaat faaliyetleri, kıyı şeridi ve ülke i güvenliğinin sağlanması gibi emellerle, sivil ve askeri uygulamalarda yürütülmektedir. Özellikle son kırk yıldır yapılan akademik araştırmaların büyük bir çoğunluğu,

insan yaşamının tehlikeye atılmaması nedeni ile insansız platformlar önem kazanmıştır. Yapılan bu alandaki çalışmaları güçleştiren unsurlar;

A. Sudaki tuz oranının yüksek olması ve basınç etkilerinden dolayı malzemenin erken yıpranması/bozulması,

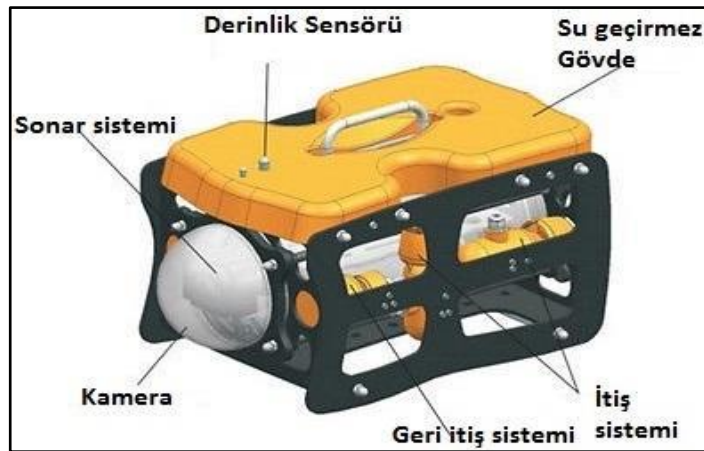
B. Su altındaki dalga hareketlerinin kötü koşullara neden olarak zor şartlar oluşturması (Drozeski, 2005),

Bu sebeple iletişim problemleri, görev için yeterli enerjiyi biriktirme güçlüğü gibi fiziksel nedenlerden ötürü, deniz altında görev yapabilecek sualtı araçlarının kablosuz olarak tasarımı bilim adamları için zorluk sebepleridir.

Bu araçların sistem çözümlemesi ve donanımlarının yanı sıra iletişim, enerji aktarımı ve kontrol çözümlerinin ortaya konması ayrı bir araştırma konusudur.

### 1.1. Sualtı Aracının Bileşenleri

İnsansız bir sualtı keşif aracının istenilen düzeyde görevleri yerine getirmesi çevresinden ihtiyacı olan verileri anlık olarak alabilmesine bağlıdır. Verilerin elde edilebilmesi için üstünde sensörlerin bulunması gerekmektedir. İnsansız sualtı keşif aracı temelde itiş, yön bulma, sensör ve bileşenlerini koruyacak bir kasadan meydana gelmektedir. Bu bileşenler Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. İnsansız Sualtı Keşif Aracı Bileşenleri (Marchand, 2017)

## 1.2. İnsansız Sualtı Keşif Araçları Tarihi

Tarihte ilk olarak insansız sualtı araçlarının kim tarafından geliştirildiğine dair kabul görmüş bilgiler bulunmasa da, kayıtlara geçen en önemli kayıtlardan birincisi PUV (Programmed Underwater Vehicle) ismi ile Avusturya'da 1864'te Luppis-Whitehead Automobile tarafından üretilmiş olan silindir biçimindeki bir uzaktan kumandalı sualtı aracıdır (Drozeski, 2005).

Günümüzde ilk uzaktan kumandalı sualtı aracı ise 1953'te Dimitri Rebikoff tarafından geliştirilen Poodle adlı araçtır. İnsansız sualtı aracı ar-ge sürecindeki ilk ciddi adım ise Britanya Kraliyet Donanması ve Amerika Birleşik Devletleri Donanması tarafından ortaya çıkarılmıştır. Otonomik özellikleri olmayan, insansız sualtı aracı olarak sınıflandırılacak bu araçlar ilk zamanlarda mayın ve patlayıcı kontrolü ve imhası için kullanılmıştır. Birleşik Devletler Donanması 1958'den beri bu araçları belli programlarla geliştirmeye başlamış olup, 1969 yılından beri az sayıda da olsa envantere kaydetmiştir. İlk başlarda okyanus dibinin haritasının çıkarılması ve deniz mayınlarının yerlerinin tespit edilmesinde kullanıldığı kaydedilmiştir. Bu araçlar güç sorunu sebebi ile su altında uzun süreler kalamıyordu. Benzer olarak uzaktan kumanda edilen bu sualtı araçları, suda sinyallerin iyi iletilmemesi nedeni ile kontrolleri çok zordu. İngiliz Kraliyet Donanması, uzaktan kontrollü su altı araçlarını uzunca bir süre tatbikatlar sonrası su altında kalan torpidolarının tespiti için kullanmıştır.

Sualtı araştırmaları, günümüzde doğal ve çevresel kaynakların incelenmesi, inşaat faaliyetleri, kıyı ve ülke güvenliğinin sağlanması gibi çeşitli amaçlarla, sivil ve askeri uygulamalarda yürütülmektedir. Özellikle son yirmibeş yıldır yapılan akademik araştırmaların büyük bir çoğunluğu, insan hayatının riske atılmaması amacıyla insansız platformların kullanılması üzerine durulmuştur. Bu alanda yapılan çalışmaları zorlaştıran unsurlar;

A. Suyun altındaki tuz ve basınç etkilerinden dolayı malzeme yıpranma olasılığının çok yüksek olması,

B. Denizin içindeki dalga hareketlerinin kötü koşullara sebep olarak zorlayıcı bir ortam oluşturması,

C. Deniz suyunun elektromanyetik spektrum dâhilinde çok sınırlı bantlarda ve belirli ölçüde geçirgen davranıyor olmasıdır.

Bu sebeple iliteşim sorunları, görev için yeterli enerjiyi depolama güçlüğü gibi birtakım fiziksel nedenlerden ötürü, su altında görev yapabilecek araçların kablosuz olarak tasarımı bilim adamları için temel zorlanma sebepleridir.

Söz konusu araçların sistem çözümü ve donanım tasarımlarının yanı sıra haberleşme, enerji ve kontrol çözümlerinin oluşturulması ayrı bir araştırma konusudur (Gonzalez, 2004).

### 1.2.1. CURV-II

Amerik Birleşik Devletleri Donanması'na ait CURV Cable Controlled Underwater Recovery Vehicle isimli aracın 1966'da İspanya'nın Palomares köyü açıklarında meydana gelen bir uçak kazası sonrasında kaybolan atom bombasını su altından çıkarması (Şekil 1.3). 1973 yılında İrlanda karasularında batan denizaltı mürettebatını kurtarması, uzaktan kumandalı sualtı keşif araçlarının faydalı olacağını en önemli kanıtlarındandır.



Şekil 1.3 CURV-II (Claudio, 2014)

### 1.2.2. CUAUV

CUAUV, Cornell üniversitesi bünyesinde tasarlanan insansız bir sualtı keşif aracıdır(Şekil 1.4). İki adet yatay ve dikey itme sistemine sahiptir. Bu aracın yatay ve dikey, yunuslama ve sapma olmak üzere dört serbestlik derecesine sahip olmasını sağlar. Üzerinde iki bilgisayar bulunmaktadır. Bunlardan birisi kamera sistemlerinin kontrolü diğeri ise motor ve sonar sistemlerinin kontrolünü sağlamak içindir.



Şekil 1.4. Cornell üniversitesi tarafından geliştirilen sualtı aracı (Claudio, 2014)

### 1.3. İnsansız Sualtı Araçlarının Genel Özellikleri

Sualtında yapılan çalışmaların karada yapılan çalışmalara kıyasla daha zor olduğu aşikardır. Hem ortam farklılığı hemde değişkenliği, haberleşme zorlukları, basınç gibi problemler insansız sualtı araçlarının (ROV) temel özelliklerini belirlemektedir (Fossen, 1994).

İnsansız Sualtı Araçlarının temel özellikleri ROV'lar için farklı AUV'ler için ise farklıdır. Kullanım alanlarına, otonomi/kontrol özelliklerine, ölçülerine ve amaçlarına göre sınıflandırılabilir.

### 1.3.1. Teknoloji

İnsansız Sualtı Araçlarının günümüze kadar gelen temel problemler;

- Enerji
- Yön bulma kesinliği ve otonom çalışması
- İletişim
- Derinlikten kaynaklı yüksek basınçlı ortam şeklindedir.

AUV'lerde de kullanılabilen yapay sinir ağları ve bulanık kontrol gibi karmaşık kontrol tekniklerinin yeni geliştirilen yakıt pili, kompozit malzemeler ve batarya teknolojileri ile birleştirilmesi ile yukarıdaki problemler büyük ölçüde giderilebilmektedir (Fossen, 1994).

### 1.3.2. Modelleme

İnsansız Sualtı Araçları yüksek maliyetli sistemler olup ekstrem koşullarda kullanılmak üzere tasarlanmışlardır. Çalışma koşullarının zorluğu nedeni ile bu araçların kontrollerinin kusursuz ve eksiksiz olmaları gerekmektedir. Bu araçların çalışma şartlarının önceden modellenmesi ve bu modellerin simüle edilmesi aracın çalışma ortamında davranışının önceden tahmin edilmesi açısından oldukça önemlidir. İnsansız sualtı araçlarında beklenen ve bu araçların taşınması gereken asgari şartlar aşağıda verilmiştir;

- A. Sabit yükseklik (deniz tabanına göre)
- B. Acil durumlarda kendini kurtarma
- C. Belirlenen konumda sabit kalma
- D. Engelden kaçınma
- E. Doğrultu koruma
- F. Sabit derinlik

### 1.3.3. Navigasyon, Kontrol ve Haberleşme Sistemleri

İnsansız Sualtı Araçlarındaki iletişim, kontrol ve yön bulma yetenekleri, bu platformların misyonlarını yerine getirilmesindeki kilit unsurdur. Diğer insansız araçlarda kullanılan ve jiroskop sistemi ile çalışan GPS modülleri sualtı çalışmalarında optik kanallardaki frekanslara belirli derecede geçirgen davranıyor olması nedeni ile kullanmak için uygun değildir. Bu sebeple navigasyon amaçlı konum verilerinin, GPS avantajı olan bir su üstü platformu ile kablolu bir bağlantıyla alınması mümkündür.

### 1.4. Ana Parçalar

İnsansız Sualtı Araçlarının ana parçaları şunlardır;

- Gövde
- Mekanik unsurlar
- Makara-kablo sistemi
- Manipülatör ve Robot kollar
- İletişim
- Sensörler
- Motorlar
- Güç kaynağı

#### 1.4.1. Gövde

Gövde yapısı AUV'lerde ROV'lara göre daha hidrodinamik bir yapıda, genellikle silindirik yapıda tasarlanmışken, ROV'larda verilen göreve uygun herhangi bir formda, hatta koruyucu bir çerçeve içerisinde bile olabilmektedir. Metal alaşım malzemelerin veya farklı türde kompozit iskelet içerisinde farklı derinliklerde kullanılmak üzere özelleştirilebilir bu özelleştirmeler arasında acil durumlarda aracın yüze çıkmasını sağlayacak çeşitli sistemler entegre edilebilir veya amaca yönelik farklı ekipmanların monte edilmesi sağlanabilir. Ayrıca bu iskelet

platforma ek beceriler kazandırmasının yanında aracı darbelerden koruyucu bir kabuk olarak da kullanılmaktadır.

#### **1.4.2. Mekanik unsurlar**

İnsansız Sualtı Araçlarında mekanik aksamalar, araçların sualtına indirilmesini ve sualtından alınmasını sağlayan vinçler dışında yine AUV'lerde ve ROV'larda ayrı değerlendirilmelidir. AUV'lerde kanatlar, dümen ve kamera sisemleri gibi yüzücü formu bozmamak için minimal düzeyde kullanılan mekanik unsurlar, yerini ROV'larda operasyonel kabiliyeti arttıracak şekilde birçok üniteye bırakmaktadır.

#### **1.4.3. Makara-kablo sistemi**

ROV'larda kullanılan bu sistem, bir kablo aracılığıyla aracı yüzeyde veya gemide bulunabilecek bir operatöre fiziksel olarak bağlar. Bağlanmada kullanılan bu kablo aracılığıyla araca güç verilmesi ve operatörün ROV'u kontrol etmesi sağlanır. Makara-kablo sisteminde kullanılan bu kablolar ROV'a güç sağlaması ve tüm iletişimin ilgili kablo üzerinden gerçekleştirilmesi sebebiyle su altında karşılaşılabilecek her türlü koşul göz önünde bulundurularak fiziksel dayanımı yüksek kılıflar ile kaplanmışlardır.

#### **1.4.4. Manipülâtör ve robot kollar**

Mekanik ayaklarla, özellikle derinlerde ağır iş amaçlı kullanılan ROV'lar dip yüzeyine tutunarak faaliyet gerçekleştirebilmektedir. Hareket halindeki bir sualtı aracının kollarını kullanması çok zordur, mutlaka hareketsiz bir yüzeyden destek alarak güç alması gerekmektedir. Mekanik ayaklar, daha iyi tutunabilmesi için vakumlama özellikli üretilmektedir.

Robot kollarında, kol minimum 3 eksenli olmalı, bilek 360 derece dönebilmeli, parmak sayısı minimum 4 olmalı ve her parmak tercihen 3 mafsallı olmalıdır. Bu mafsallar tam olarak kapanabilmeli, üzerlerindeki yüzey sensörleri yardımıyla

tutulan cismin sertliğine ve dayanıklılığına uygun olarak sıkma basıncı ayarlanabilmelidir.

#### **1.4.5. İletişim**

ROV'larla iletişim bir kablo aracılığı ile yapılabilirken AUV'lerde maalesef bu pek mümkün olmadığından farklı teknikler kullanılmaktadır. Su üstüne atılan bir şamandıra ile haberleşme çoğunlukla acil durumlar için kullanılmaktadır. Burada kablonun kopmaması için üzerindeki gerilim sürekli ölçülmektedir.

#### **1.4.6. Sensör ve kullanım unsurları**

Çoğu İnsansız sualtı sistemleri kamera ve aydınlatmalar ile donatılmıştır. Gerektiği durumlarda ise sualtı aracı farklı sensörler ile donatılıp kapasitesi artırılabilir şekilde tasarlanmıştır. Sensörler su sıcaklığını, derinliği hatta su temizliğini ölçebilen işlemler gerçekleştirebilmektedir. Bu sensörlerin kullanımı ve kontrolü elektronik modüller ile gerçekleştirilir (Healey, 1992).

#### **1.4.7. Motorlar**

İnsansız sualtı araçlarında thruster adıyla bilinen özel elektrik motorları kullanılmaktadır. Bunlar genelde alüminyum ya da titanyum haznede, yüksek torklu, düşük çaplı, düşük enerji sağlayan, özel yağlama sistemi ile çalışan, su geçirmez motorlar olmakla birlikte yüksek basınçlı ortamlarda çalışabilmektedir. Fırçalı veya fırçasız olabilmektedirler. Değişik verilere göre AUV'lerde genelde en fazla 2 motor bulunurken, ROV' larda dikey eksen ve yatay ekseninde çalışan minimum 4 motor bulunmaktadır.

#### **1.4.8. Güç Kaynağı**

İnsansız sualtı araçlarında günümüzde kullanılan enerji kaynakları olarak gelişmiş lityum bataryaların yanı sıra, gümüş oksit-çinko bataryalar ve PEM-HYP hidrojen yakıt pilleride kullanılmaktadır. Bunlardan lityum temelli piller bilinen

en yaygın güç kaynaklarıdır. Çalışma süresinin fazla olması beklenen insansız su altı araçlarında kullanılmak üzere tasarlanmış olan minimum 1 Kilowatt çıkış gücüne sahip PEM (Proton Exchange Membrane) Hidrojen Yakıt Pilleri kullanılmaktadır. Enerjinin ortaya çıkarılması için ihtiyaç olan hidrojenin düşük hacimli kartuşlarda kolaylıkla depolanabilmesi ve kolaylıkla yenilenebilir olması, önemli ölçüde düşük emisyon üretmesi, sessiz bir yapıda olması sebebiyle bu tip sualtı araçları için çok tercih edilen bir enerji kaynağı yerini almıştır.

#### **1.4.9. Yüzey kontrol**

Yüzey kontrol noktaları gemide veya karada kurulumş olup su altı keşif araçları için olmazsa olmazlar arasındadır. Yüzey konumlarında mevcut olan sistemler aşağıda sıralanmıştır;

- Destek sistemleri
- Makara düzeneği
- Haberleşme
- Vinç
- Sensörler
- Kontrol Odası

### **1.5. Günümüzdeki Durum**

#### **1.5.1. Dünyadaki Durum**

Günümüzde İnsansız Sualtı Keşif Araçları yalnızca birkaç ülke tarafından geliştirilip üretilmektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar sayesinde, ülkemiz bu ülkeler içine girmeyi başarmıştır. Bu araştırma ve geliştirmeler ciddi kaynaklar sağlayan TÜBİTAK'ın payı göz ardı edilmemelidir. Günümüzde kıyı kenarı olan tüm ülkeler kendi İnsansız Sualtı Keşif Araçlarını tasarlamaya çalışmaktadır.

Giriş bölümündeki örnekler haricinde dünya İnsansız su altı araçlarını okyanusta düşen uçakları bulan ABYSS türü araçların haberleri ile tanıdı. Malezya Havayollarına ait MH370 sefer sayılı uçağının Hint Okyanusuna düştüğü Malezyalı görevliler tarafından bildirilmişti. Yetkililer, yolcu uçağının kalkıştan yaklaşık 8 saat sonra düştüğünü tahmin ediyordu. Fakat uçağın düşmesine tam olarak neyin sebep olduğu hala belirsizdi. Daha detaylı bilgi toplanması için Okyanus dibindeki enkaz arama faaliyetleri AUV'ler tarafından gerçekleştirildi. Günümüzde İnsansız Sualtı araçları insanların yapamadığı veya yapmasının tehlikeli görüldüğü her yerde başarıyla kullanılmaktadır. Bu alanlara su altı boru hatları yapım ve bakımı, sondaj, arama ve kurtarma, mayın arama ve imha, çevre kirliliği, güvenlik, sismik araştırm, fay hatları tespiti gibi birçok alanda örnekler verilebilmektedir (Gertler, 1967).

### **1.5.2. Ülkemizdeki durum**

1970'li yıllarda mayın arama gemilerinde kullanılmaya başlayan su altı araçları, ilk olarak 1990'lı yıllarda yurt dışından getirtilerek donanmanın mayın arama gemilerinde kullanılmaya başlanmıştır.

Pahalı olması ve çeşitli sıkıntılar nedeniyle yerli ürün arayışı içerisinde olan Deniz Kuvvetleri Komutanlığı bu konuda TÜBİTAK ile çalışmaya karar vermiştir. Ülkemizde sualtı keşif aracı tasarım ve üretimi TÜBİTAK ve bazı üniversitelerde, özel sektörde ise birkaç firmada başlamıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatürde yapılan araştırmalar incelendiğinde serbestlik dereceli insansız bir sualtı aracının modellenmesinde ve analizlerinin yapılmasında pek çok yöntem kullanıldığı görülmektedir. Bazı veriler gerçek bir sualtı ortamında hareket eden bir sualtı aracından elde edilmişken bazı veriler ile belli başlı programlar yardımıyla matematiksel model çıkartılmış ve bu şekilde veriler elde edilmiştir. Çoğu zaman ise, daha geçerli sonuçlar elde etmek için her iki yöntem birlikte kullanılmaktadır. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte yöntemlerin sayısı artmakta olup sualtı araçlarının kararlılıkları da doğru orantılı olarak artmakta ve daha kesin çözümlere ulaşılmaktadır.

Gertler (1967)'in denizaltı simülasyonları için standart hareket denklemleri adlı çalışması, sualtı robotları için oluşturulan matematiksel modeller için ihtiyaç olan hareket denklemlerinin çıkarılması konusunda ciddi çalışmalar yapmıştır. Yaptığı çalışmalar günümüzde hala referans alınmaktadır.

Fossen (1994)'in okyanus araçlarının kontrolü adlı çalışmasında bazı kabuller yaparak otonom bir sualtı aracının modellenmesi ve elde edilen denklemler ışığında gerçekleştirdiği analizleri gerçek bir sualtı aracının verileri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonunda her iki yöntemin çıktılarının birbirine neredeyse aynı olduğu görülmüştür. Günümüzde çoğu modelleme hala Fossen (1994)'in yaptığı kabuller ve kullandığı parametreler ile gerçekleştirilmektedir.

Triantafyllou (2002)'nin hazırladığı teknik raporda sualtı araçlarının üzerinde sürtünme kuvvetlerini azaltarak uzun menzilli görevlerde daha verimli kullanılabileceğini belirtmiştir. Hazırlamış olduğu sualtı aracını hem gerçek ortam şartlarında test etmiş hem de bilgisayar ortamında testlerini gerçekleştirmiş. Her iki yöntem ile ettiği veriler ışığında minimum sürtünmeye sahip bir sualtı aracının istenilen görevleri daha verimli yerine getirdiği gözlemlenmiştir.

Gonzalez (2004)'in batı Avustralya Üniversitesi'nde bir sualtı aracının tasarımı, modellenmesi ve kontrolü isimli tez çalışmasında Fossen (1994) tarafından yapılan çalışmasıyla sıklıkla atıfta bulunmuştur. Gonzalez (2004) yaptığı tez çalışmasında oluşturduğu matematiksel model ile literatürdeki diğer sualtı araçlarının parametrelerini kullanarak daha kararlı analiz sonuçları elde etmiştir.

Drozski (2005)'nin yaptığı çalışmada insansız bir sualtı aracı gerçek veriler sualtı ortamında elde edilerek bu verilerin ışığında bir matematiksel model geliştirmiştir. Fakat bu modellemede pek çok sorunla karşılaşmış, özellikle sualtı ortamının değişken koşulları göz önünde bulundurulduğunda bu veriler kolay elde edilememiştir.



### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Matematiksel Modelin Oluşturulması**

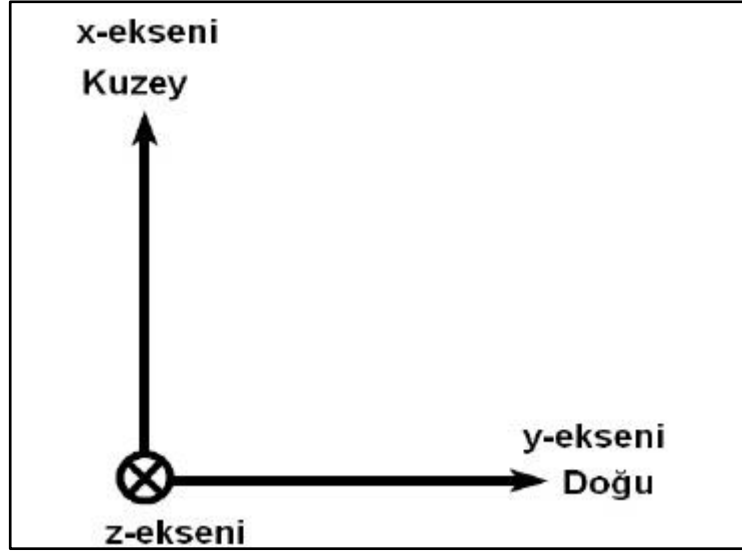
Bu bölümde altı serbestlik derecesine sahip bir sualtı aracının matematiksel modelinin oluşturulması için gerekli olan doğrusal hareket denklemleri elde edilecektir.

İnsansız sualtı araçlarının matematiksel modellenmesi birçok kaynakta incelenmiş bir konu olup bu çalışmada genel olarak geçmiş çalışmalar referans alınmıştır.

##### **3.1.1. Doğrusal Hareket Denklemleri**

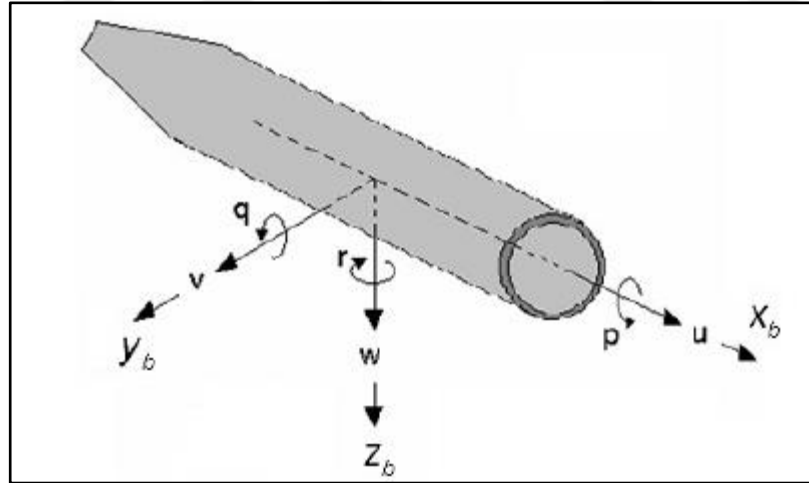
Sualtı aracının 6 serbestlik dereceli hareketi incelendiğinde, hareketin tanımlanabilmesi için iki eksen takımının kullanılmasına ihtiyaç duyulduğu gözlemlenir.

Dünya Eksen Takımı (Kuzey – Doğu – Aşağı): Dünya üzerinde sabitlenmiş eksen takımınıdır. X- eksenini kuzey, y- eksenini doğu ve z- eksenini de dünya yüzeyinden aşağıya doğru tanımlanmıştır. Sağ el kuralına göre tanımlanan bu eksen Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Dünya eksen takımı

Gövde Sabitli eksen takımı: Sualtı aracına sabitlenmiş eksen takımıdır. Bu eksen takımı sualtı aracıyla birlikte hareket eden eksen takımıdır (Şekil 3.2). Hareket denklemleri bu eksen takımında çözülecektir (Gül ve Leblebici, 2011).



Şekil 3.2: Gövde sabitli eksen takımı

Sualtı keşif aracının altı serbestlik dereceli hareketlerinin her bir eksen takımı için tanımı Çizelge 3.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Altı serbestlik dereceli hareketin eksenlerdeki tanımı

Serbestlik Derecesi	Tanım	Eksen	Kuvvet ve Momentler	Doğrusal ve Açısal Hızlar	Konum ve Açılar
1	Boyuna Öteleme	x	X	u	x
2	Yanal Öteleme	y	Y	v	y
3	Dalıp Çıkma	z	Z	w	z
4	Yalpa	x	X	p	$\Phi$
5	Yunuslama	y	Y	q	$\Theta$
6	Sapma	z	Z	r	$\Psi$

Tabloda gösterilen ilk üç değer ve onların zamana göre türevleri, aracın x-, y-, z- eksenindeki konumunu ve hareketini, geri kalan üç değer aracın dönme hareketlerini tanımlamaktadır (Triantafyllou, 2002).

Genel Kabuller;

- Sualtı aracı rijit olarak kabul edilmiştir,
- Dünya Dönüş hızı ihmal edilmiştir.

Gövde Sabit Eksen Takımına Göre Lineer Momentum;

$$\sum_{i=1}^N \vec{F}_i = \sum_{i=1}^N \frac{d}{dt} (m_i \vec{v}_i) \quad (3.1)$$

$$\vec{v}_i = \vec{v}_0 + \vec{\omega} \times \vec{r}_i \quad (3.2)$$

Burada  $\vec{F}_i$  araca etki eden toplam kuvvetleri,  $\vec{r}_i$  her bir parçanın konum vektörünü,  $\vec{v}_i$  her bir parçanın hız vektörünü,  $\vec{\omega}$  açısal hızları,  $m_i$  ise aracın kütesini temsil etmektedir (Gül ve Leblebici, 2001)

3.2 denklemi 3.1 denkleminde yerine konulur.

$$\sum_{i=1}^N \vec{F}_i = \sum_{j=1}^N \frac{d}{dt} (m_i (\vec{v}_0 + \vec{\omega} \times \vec{r}_i)) \quad (3.3)$$

$$m = \sum_{i=1}^N m_i \quad (3.4)$$

$$m\vec{r}_G = \sum_{i=1}^N m_i \vec{r}_i \quad (3.5)$$

3.5 ve 3.4 nolu denklemler 3.3 nolu denklemde yerine konulur.

$$\sum_{i=1}^N \vec{F}_i = m \frac{\partial \vec{v}_0}{\partial t} + m \frac{d}{dt} (\vec{\omega} \times \vec{r}_G) \quad (3.6)$$

$$\dot{\vec{r}}_G = \vec{v}_0 + \vec{\omega} \times \vec{r}_G \quad (3.7)$$

Burada  $r_G$ , ağırlık merkezinin konum vektörüdür ve genel hareket denklemini elde etmek için

$r_G \neq 0$  olarak kabul edilir.

3.7 ve 3.6 denklemleri birleştirildiğinde 3.8 denklemi elde edilir.

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i = m \left( \frac{\partial \vec{v}_0}{\partial t} + \vec{\omega} \times \vec{v}_0 + \frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{r}_G + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}_G) \right) \quad (3.8)$$

Burada  $\vec{v}_0 = (u, v, w)$  gövde sabitli eksene göre hız vektörünü,  $\vec{r}_G = (x_g, y_g, z_g)$  gövde sabitli eksene göre ağırlık merkezi vektörünü,  $\vec{\omega} = (p, q, r)$  açısal hız vektörünü,  $\vec{F} = (X, Y, Z)$  dış kuvvet vektörünü temsil etmektedir.

$$\vec{\omega} \times \vec{v}_0 = - \begin{bmatrix} i & j & k \\ p & v & r \\ u & v & w \end{bmatrix} \rightarrow \vec{\omega} \times \vec{v}_0 = - \begin{bmatrix} qw & -rv \\ ru & -pw \\ pv & -qu \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

$$\frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{r}_G = \begin{bmatrix} i & j & k \\ \frac{d\omega}{dt} & \frac{d\omega}{dt} & \frac{d\omega}{dt} \\ x_G & y_G & z_G \end{bmatrix} \rightarrow \frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{r}_G = \begin{bmatrix} \frac{dq}{dt} & \frac{dr}{dt} \\ \frac{dr}{dt} & \frac{dp}{dt} \\ \frac{dp}{dt} & \frac{dq}{dt} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$$R_z(\emptyset) = \begin{bmatrix} 1 & -0 & 0 \\ 0 & \cos\emptyset & -\sin\emptyset \\ 0 & \sin\emptyset & \cos\emptyset \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$$R_z(\Psi) = \begin{bmatrix} \cos\Psi & -\sin\Psi & 0 \\ \sin\Psi & \cos\Psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

3.9, 3.10, 3.12 nolu denklemler 3.8 nolu denklemde yerine yazıldığında doğrusal hareket denklemleri elde edilir.

$$\begin{aligned} X &= m[\dot{u} + qw - rv + x_G(q^2 + r^2) + y_G(pq - \dot{r}) + z_G(rp + \dot{q})] \\ Y &= m[\dot{v} + ru - pw + y_G(r^2 + p^2) + z_G(qr - \dot{p}) + x_G(qp + \dot{r})] \\ Z &= m[\dot{w} + pw - qu + z_G(p^2 + q^2) + x_G(rp - \dot{q}) + y_G(rp + \dot{p})] \end{aligned} \quad (3.13)$$

Burada  $x_G, y_G, z_G$  ağırlık merkezinin konumunu;  $u, v, w, p, q, r$  doğrusal ve açısal hızları temsil etmektedir.

## 3.2. İnsansız Sualtı Aracı Modeli

Bu bölümde sualtı aracı için bilgisayar destekli analiz programında üç farklı derinlik için iki farklı malzeme seçimi yapılarak basınç analizi yapılmıştır. Üç farklı derinlik seçiminin amacı seçilen malzeme üzerinde oluşan gerilmelerin ve yer değiştirmelerin doğrusal olup olmadıklarını belirlemektir. İlk durumda 100 metre derinlikte 1 MPa basınç altında, ikinci durumda 200 metre derinlikte 2 MPa ve üçüncü durumda 300 metre derinlikte 3 MPa basınç altında çözümlene yapılmıştır. Her üç durumda gövde için sıkıştırılmış cam malzeme ve çapraz bağlı polietilen malzeme seçimiyle oluşturulan modeller için çözümlene gerçekleştirilmiştir. İlk olarak Solidworks veri tabanında bulunan malzemelerden uygun olanları seçilerek modele uyarlanmıştır. Daha sonrası

seçilen malzemeler modele uygulanarak özellikleri saptanmıştır. Malzemeler modele uygulandıktan sonra çözümlene kısmına geçilmiştir. Çözümlene Solidworks Simulation eklentisinde yer alan mesh (çözüm ağı) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Gövdeye uygulanan basınç sonucu modelde oluşan gerilme ve yer değiştirme çözümlene gerçekleştirilmiştir. Modelde oluşan gerilme Von Mises yöntemiyle çözümlenmiştir.

Von Mises Yöntemi: Katı cisimlerin gerilme analizini çözümlene amaçlı yapılan yöntemdir. Bu yöntemde temel mantık sapma tensörünün ikinci kriteri üzerine odaklıdır. İkinci tensör olan  $J_2$  odaklı çözümlene yapılarak formüle ulaşılmaktadır. Yöntemde asal gerilmeler koordinat sisteminin eksenleri olarak düşünölmektedir. Gerilmenin oluşumu sapma bileşeninden kaynaklıdır. Sapma tensörünün ilk katsayısı olan  $J_1$  ve üçüncü katsayısı olan  $J_3$  göz ardı edilir. Sapma tensörünün ikinci katsayısı;

$$j_2 = \frac{1}{6} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \quad (3.14)$$

Şeklinde yazılır. Burada  $J_2$  sapma tensörünün ikinci katsayısı,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  ve  $\sigma_3$  eksenlerde oluşan ana gerilmelerdir.

Modelde akma oluşu için  $J_2$  değerinin  $k^2$  ile adlandırılan bir değeri aşması gerekmektedir. Von Mises Yöntemini matematiksel olarak en temel şekilde ifade etmek için aşağıdaki eşitlik yazılır.

$$f(J_2) = J_2 - k^2 = 0 \quad (3.15)$$

Denklemdede  $k$  değerine ulaşmak için ikinci ve üçüncü yönlerdeki gerilmeler sıfıra eşitlenerek tek yönlü bir gerilme denklemi yazılır. Daha sonra sonucuna ulaşılan  $k$  değeri üç yönlü asal gerilmenin olduğu denklemde yerine yazılır ve Von Mises Gerilme denklemine ulaşılır. Söz konusu denklem aşağıdaki gibidir.

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (3.16)$$

Burada  $\sigma_v$ , Von Mises Gerilmesini ifade eder.

Eşdeğer Gerinim: Katı cismin her bir elemanında meydana gelen birim değişimin tüm modele olan oranıdır. Fiziksel bir deformasyon olarak da tanımlanır. Çözümleme sonucu elde edilen değer birimi yoktur. Eşdeğer gerinim;

$$\varepsilon = 2 \left[ \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{3} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.17)$$

Şeklinde yazılır. Burada  $\varepsilon$  eşdeğer gerinimi,  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ , birinci ve ikinci ana yöndeki normal gerinimleri temsil eder.

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2} [(EPSX - \varepsilon^*)^2 + (EPSY - \varepsilon^*)^2 + (EPSZ - \varepsilon^*)^2] \quad (3.18)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{4} [(GMXY)^2 + (GMXZ)^2 + (GMYZ)^2] \quad (3.19)$$

$$\varepsilon^* = \frac{1}{3} (EPSX + EPSY + EPSZ) \quad (3.20)$$

Burada  $\varepsilon^*$  ortalama normal gerinimi temsil eder. ESPX, EPSY, ESPZ, seçili referans geometrisinin X, Y ve Z yönlerindeki normal gerinimlerini tanımlar. GMXY, seçili referans geometrisinin YZ düzleminde Y yönündeki yırtılma gerinimini tanımlar. GMXZ, seçili referans geometrisinin YZ düzleminde Z yönündeki yırtılma gerinimini tanımlar. GMYZ, seçili referans geometrisinin XZ düzleminde Z yönündeki kayma gerilmesini tanımlar.

Yer Değiştirme Analizi: Bu analizde katı modelde oluşan yer değiştirme miktarının analizi yapılır. Modelin karakteristik uzunluğu olan L değeri aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$L = \sqrt{\sum_{i=1}^N [(X_i - X_c)^2 + (Y_i - Y_c)^2 + (Z_i - Y_c)^2] / N} \quad (3.21)$$

Denklemdede  $X_i$ ,  $Y_i$  ve  $Z_i$  düğüm  $i$ 'nin koordinatlarıdır.  $X_c$ ,  $Y_c$  ve  $Z_c$  değerleri katı modelin merkez geometrik koordinatlarıdır.  $N$ , modelde belirlenen toplam düğüm sayısıdır.

Yatak için Solidworks programı veritabanında yer alan paslanmaz çelik 1.4306 (X2CrNi19-11) seçimi yapılmıştır ve özellikleri Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Paslanmaz çelik 1.4306 (X2CrNi19-11) özellikleri

ÖZELLİK	DEĞER	BİRİM
Elastikiyet Modülü	200000	N/mm <sup>2</sup>
Poisson Oranı	0.28	Yok
Yırtılma Modülü	79000	N/mm <sup>2</sup>
Kütle Yoğunluğu	7900	kg/m <sup>3</sup>
Gerilme Mukavemeti	600	N/mm <sup>2</sup>
Akma mukavemeti	400	N/mm <sup>2</sup>
Termal Genişleme Katsayısı	1.1e-05	/K
Termal İletkenlik	14	W/(m·K)
Özgül Isı	440	J/(kg·K)

Seçimi yapılan malzemenin yatak modeline uygulanması sonucu elde edilen yatak özellikleri Çizelge 3.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Yatak özellikleri

ÖZELLİK	DEĞER	BİRİM
Kütle	104,642	kg
Hacim	0,0132459	m <sup>3</sup>
Yoğunluk	7900	kg /m <sup>3</sup>
Ağırlık	1025,5	N

Daha sonra yine Solidworks veritabanında bulunan malzemelerden olan cam malzemesi saydam tüp için seçilmiştir ve özellikleri Çizelge 3.4'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.4. Sıkıştırılmış Cam özellikleri

ÖZELLİK	DEĞER	BİRİM
Elastikiyet Modülü	68935	N/mm <sup>2</sup>
Poisson Oranı	0.23	Yok
Yırtılma Modülü	28022	N/mm <sup>2</sup>
Kütle Yoğunluğu	2457.6	kg/m <sup>3</sup>
Termal Genişleme Katsayısı	9,00E-06	/K
Termal İletkenlik	0.74976	W/(m·K)
Özgül Isı	834.61	J/(kg·K)

Seçimi yapılan malzemenin modele uygulanması sonucu elde edilen saydam tüpün özellikleri Çizelge 3.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.5. Sıkıştırılmış cam tüp özellikleri

ÖZELLİK	DEĞER	BİRİM
Kütle	12,8117	kg
Hacim	0,00521311	m <sup>3</sup>
Yoğunluk	2457,6	kg /m <sup>3</sup>
Ağırlık	125,555	N

Yine saydam tüp için seçimi yapılan ikinci malzeme olan çapraz bağlı polietilenin özellikleri Çizelge 3.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.6. Polietilen çapraz bağlı özellikleri

ÖZELLİK	DEĞER	BİRİM
Elastikiyet Modülü	600	N/mm <sup>2</sup>
Kütle Yoğunluğu	950	kg/m <sup>3</sup>
Gerilme Mukavemeti	18	N/mm <sup>2</sup>
Sıkıştırma Mukavemeti	14	N/mm <sup>2</sup>

Seçimi yapılan malzemenin modele uygulanması sonucu elde edilen saydam tüpün özellikleri Çizelge 3.7’de gösterilmektedir.

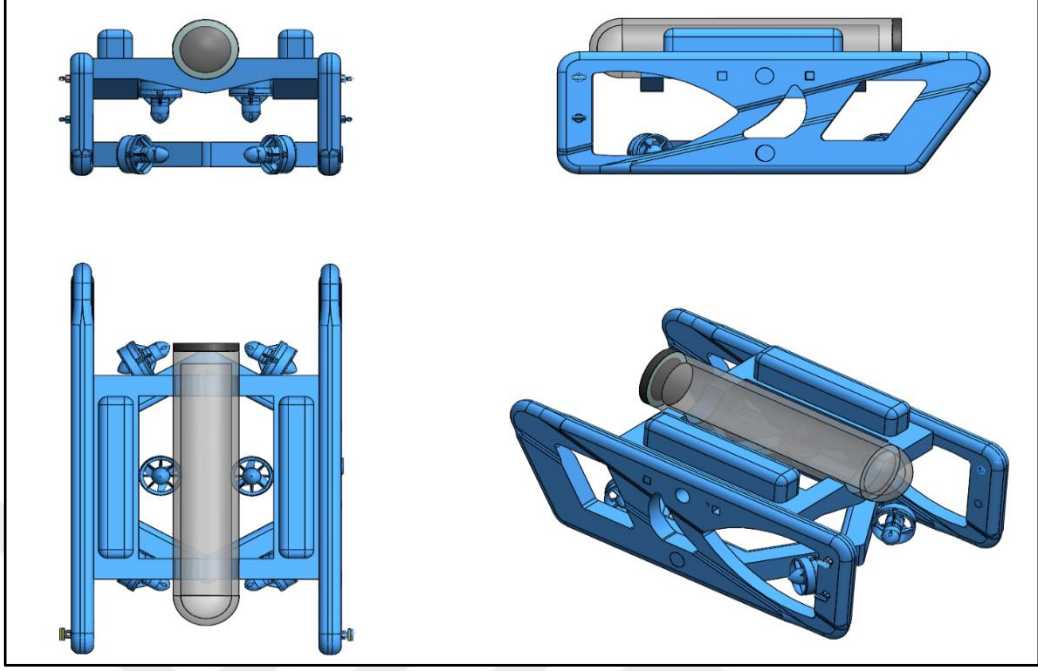
Çizelge 3.7. Polietilen saydam tüp özellikleri

ÖZELLİK	DEĞER	BİRİM
Kütle	4,95246	kg
Hacim	0,00521311	m <sup>3</sup>
Yoğunluk	950	kg / m <sup>3</sup>
Ağırlık	48,5341	N

Çizelge 3.8. Sualtı aracının fiziksel parametreleri

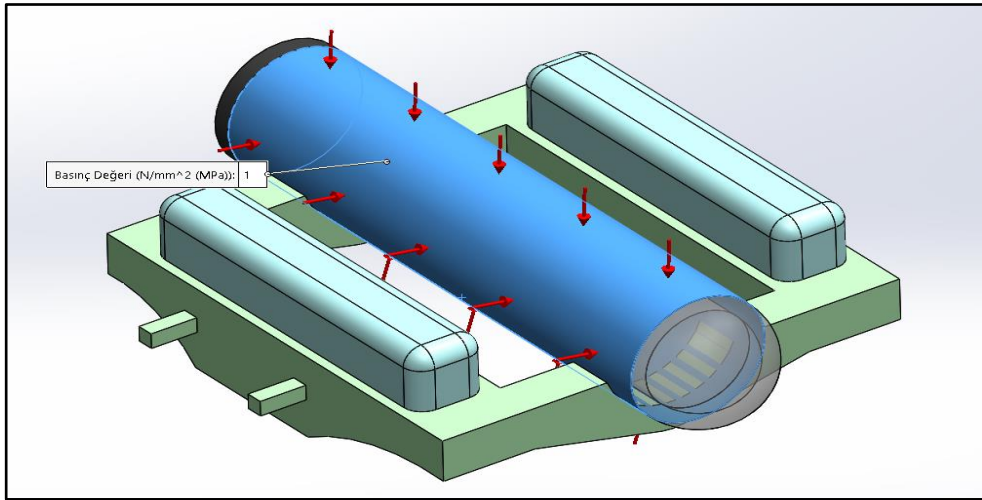
Katsayı	Açıklaması	Değeri
W	Toplam araç ağırlığı	476 N
B	Araç tarafından itilen suyun ağırlığı	306 N
L	Araç uzunluğu	1.33 m
D	Sualtı aracının maksimum çapı	0.1905 m
A	Maksimum kesit alanıdır. Silindir şeklinde düşünülen bir sualtı aracı için R çapı olmak üzere değeri $\pi R^2 / 4$ ’dir.	0.0285 m <sup>2</sup>
g	Yerçekimi ivmesi	9.81m/s <sup>2</sup>
m	Aracın kütlesi	30.5 kg
$\rho$	Su yoğunluğu	1030 kg/m <sup>3</sup>
I <sub>xx</sub>	Uzunlamasına gövde eksenini boyunca eylemsizlik momenti	0.1770 kg. m <sup>2</sup>
I <sub>yy</sub>	Yanal gövde eksenini boyunca eylemsizlik momenti	3.45 kg. m <sup>2</sup>
I <sub>zz</sub>	Dikey gövde eksenini boyunca eylemsizlik momenti	3.45 kg. m <sup>2</sup>
X <sub>G</sub>	Uzunlama gövde ekseninde aracın ağırlık merkezinin kaldırma merkezine olan uzaklığıdır.	0
Y <sub>G</sub>	Yanal gövde ekseninde aracın ağırlık merkezinin kaldırma merkezine olan uzaklığıdır.	0
Z <sub>G</sub>	Dikey gövde ekseninde aracın ağırlık merkezinin kaldırma merkezine olan uzaklığıdır.	0.0196 m
P <sub>T</sub>	Pervane itki kuvveti	9.25 N

Çözümlemesi yapılacak modelin üç görünüşü Şekil 3.3'te verilmiştir.

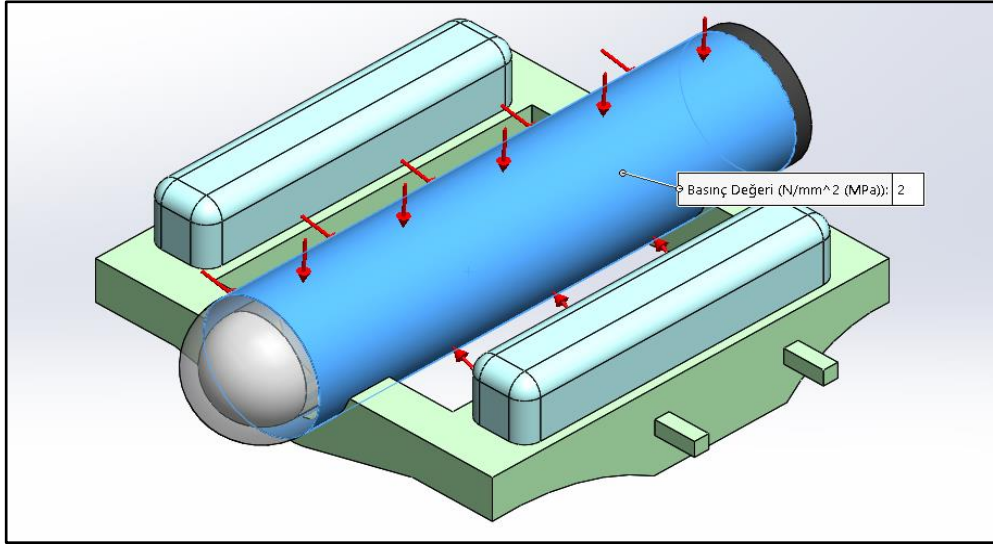


Şekil 3.3. Sualtı aracı modeli

Malzeme seçimleri ve seçilen malzemelerin modele uygulanmasından sonra gövdeye basınç uygulaması yapılmıştır. Gövde modeline etkiyen basınç değerleri Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te gösterilmektedir.

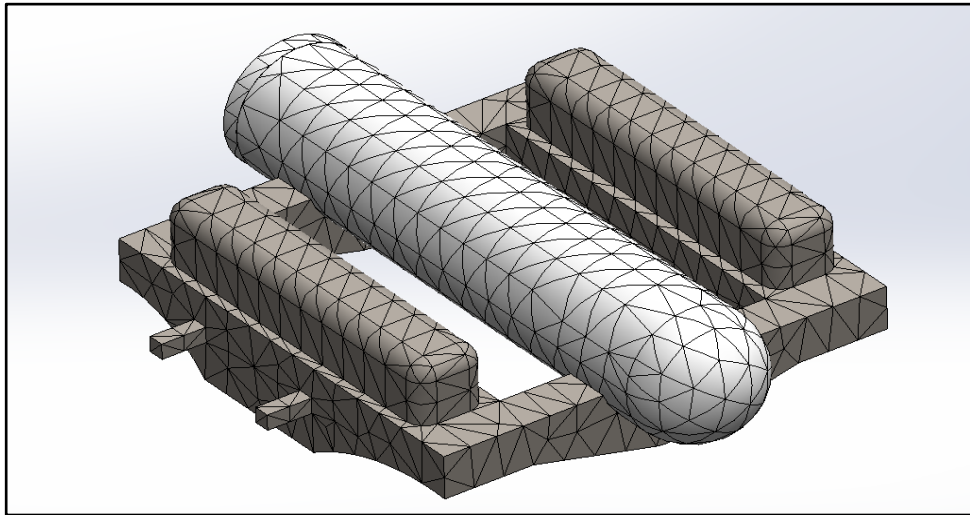


Şekil 3.4. Gövdeye 1 MPa değerinde uygulanan basınç



Şekil 3.5. Gövdeye 2 MPa değerinde uygulanan basınç

Uygulanan basıncın model üzerine etkisini her bir birim elemanda çözümlmek için mesh (çözüm ağı) yöntemi kullanılmıştır. Model 4453 elemandan ve 8270 düğümden oluşturularak analiz yapılmıştır. Modele uygulanan mesh yöntemi Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



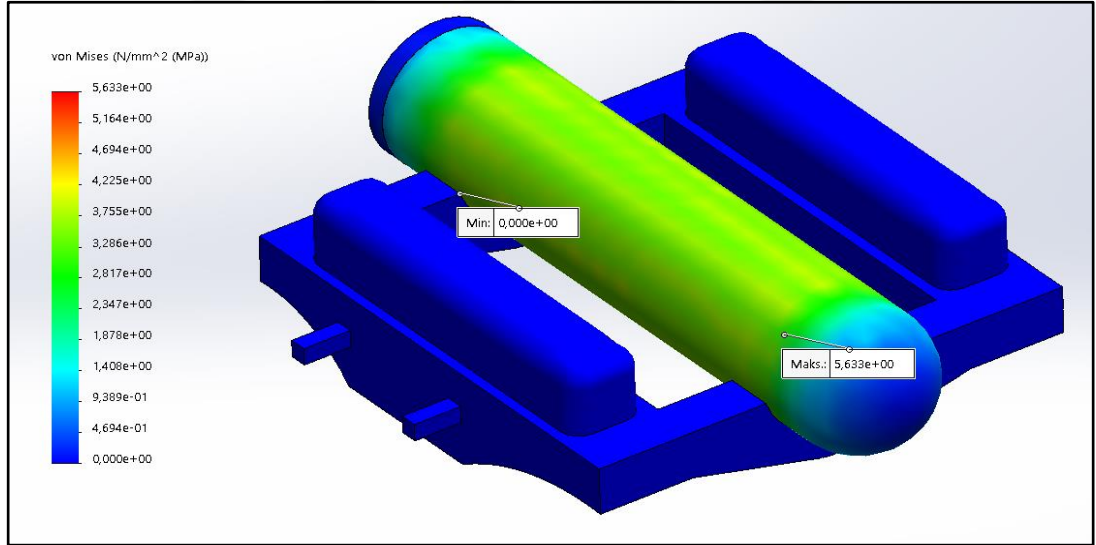
Şekil 3.6. Modele uygulanan mesh (çözüm ağı) yöntemi

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. İnsansız Sualtı Aracı Modelinin Basınç Analizi

Bu bölümde sualtı aracı için basınç analizleri yapılmıştır. Su altında üç farklı derinlikte iki farklı malzeme seçimi yapılarak modelde meydana gelen gerilmeler, yer değiştirmeler ve eşdeğer gerinimler bilgisayar destekli analiz programıyla çözümlenmiştir.

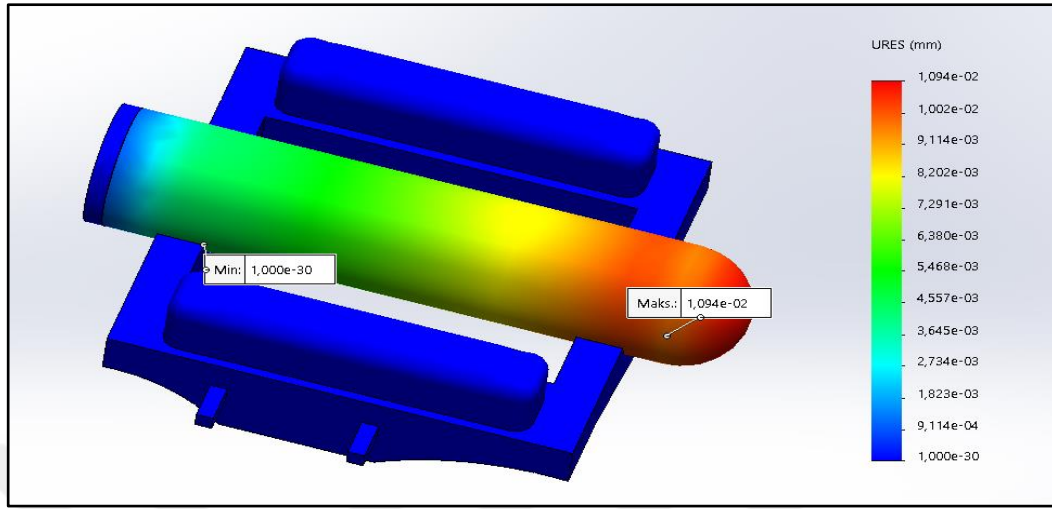
100 metre derinlikte 1 MPa basınç altındaki modelin stres analizi von mises yöntemiyle çözümlenmiştir. Bu durumda seçimi yapılmış olan malzeme sıkıştırılmış camdır. Analiz sonucunda elde edilen değerler ve çözümleme Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Stresin maksimum ve minimum değerleri model üzerinde yer almaktadır.



Şekil 4.1. 100 metrede sıkıştırılmış cam gövde için stres analizi

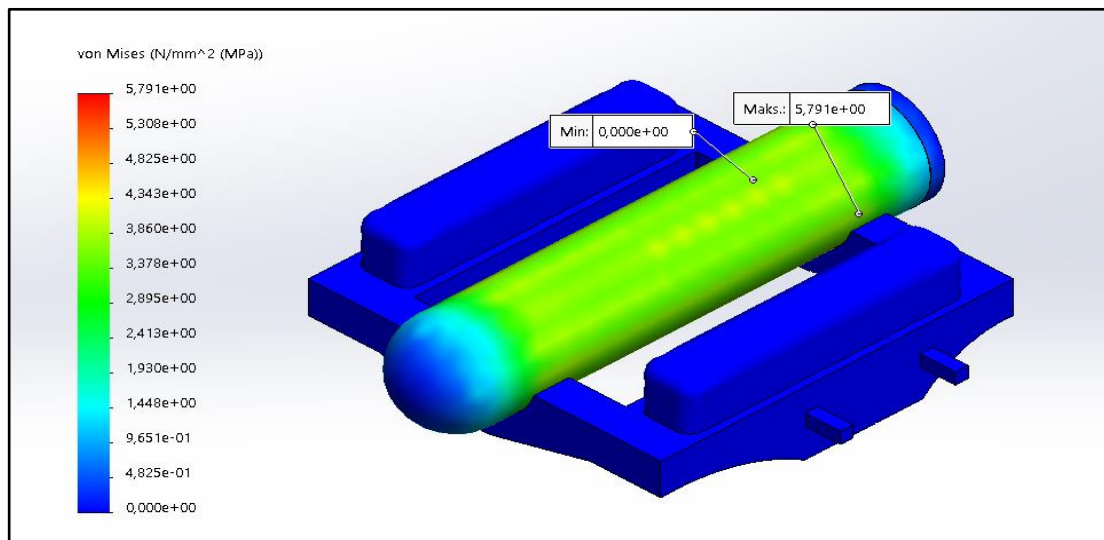
Basınç altındaki modelde meydana gelen yer değiştirme çözümlemesi Şekil 4.2' de gösterilmektedir. Maksimum ve minimum yer değiştirme noktaları model üzerinde gösterilmiştir. Maksimum yer değiştirme kırmızı bölge olarak gösterilen gövdenin uç kısmında gerçekleşmektedir. Minimum yer değiştirme

yatak ve gövdenin birleşim noktasında oluşmaktadır. Maksimum yer değıştirme 0,01 mm'dir.



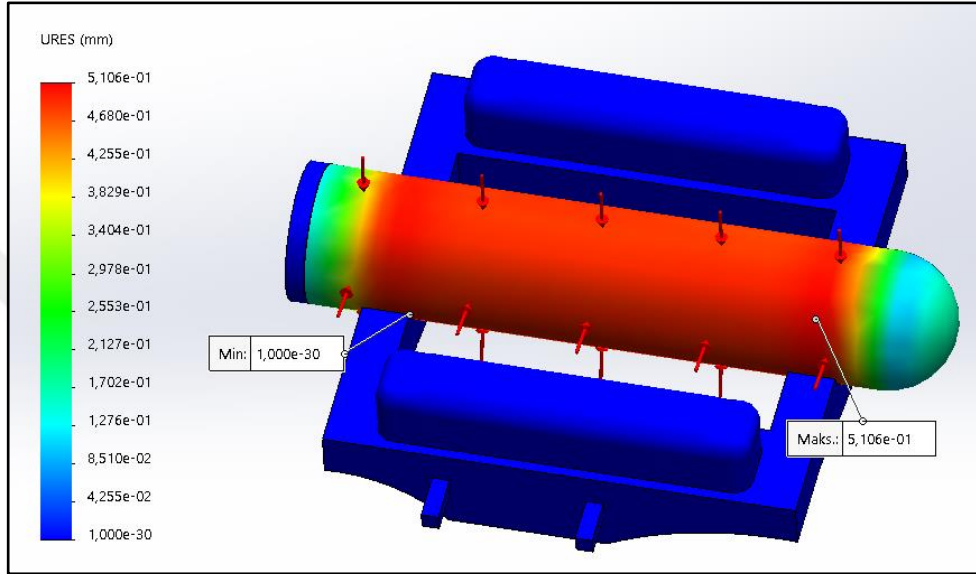
Şekil 4.2. 100 metrede sıkıştırılmış cam gövde için yer değıştirme analizi

Ortam şartlarının ve uygulanan basıncın aynı olduğu birinci durumda gövde için farklı bir malzeme seçimi yapılarak analizler tekrarlanmıştır. Seçilen malzeme çapraz bağlı bir tür plastik olan polietilendir. Model için gerilme analizi yine Von Mises yöntemiyle yapılmıştır. Von Mises çözümlmesi Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3. 100 metrede polietilen gövde için gerilme analizi

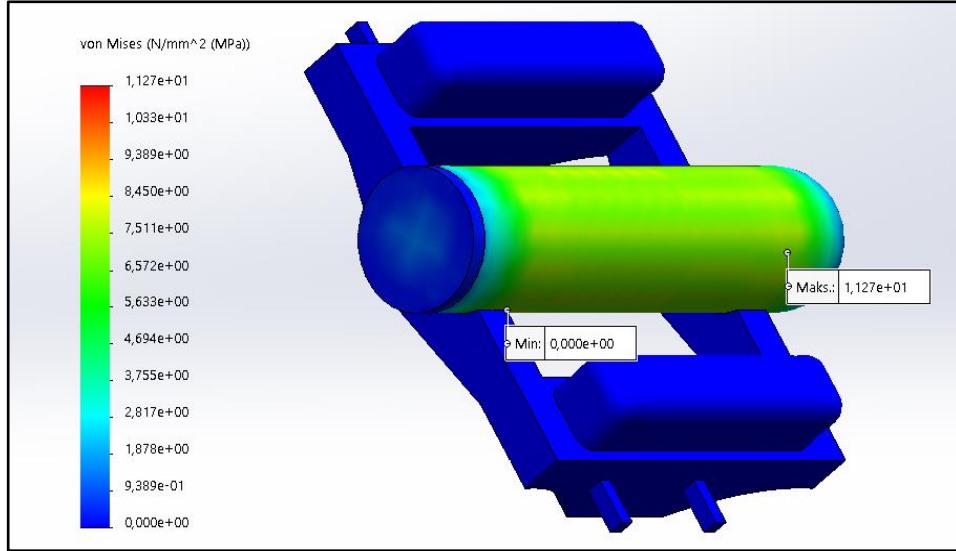
Basınç altındaki modelde meydana gelen yer değiştirme çözümlenmesi Şekil 4.4’de gösterilmektedir. Maksimum ve minimum yer değiştirme noktaları model üzerinde gösterilmiştir. Maksimum yer değiştirme kırmızı bölge olarak gösterilen saydam tüpün orta kısmında gerçekleşmektedir. Minimum yer değiştirme yatak ve saydam tüpün birleşim noktasında oluşmaktadır. Maksimum yer değiştirme 0,51 mm’dir.



Şekil 4.4. 100 metrede polietilen gövde için yer değiştirme analizi

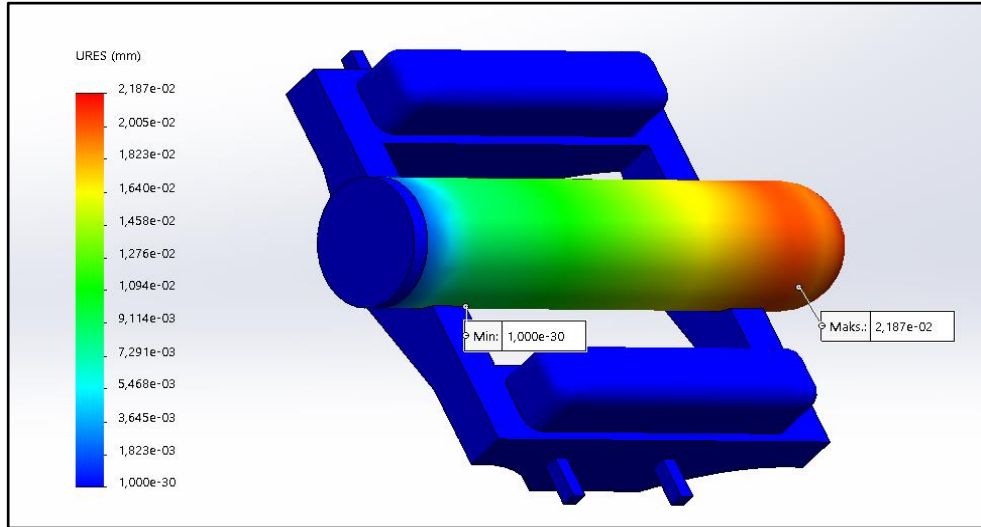
Her iki malzemeye uygulanan modeller için maksimum gerilmeler yaklaşık olarak aynı değerlere sahiptir. Minimum gerilme her iki modelde de sıfırdır. Sıkıştırılmış cam gövdede meydana gelen yer değiştirme miktarı 0,01 mm civarındadır. Polietilen malzeme uygulanan modelde meydana gelen yer değiştirme miktarı yaklaşık olarak 0,51 mm’dir. Kullanılan malzemenin cinsine göre ciddi oranda değişim gözlemlenmiştir.

İkinci durumda 200 metre derinlikte aynı malzemelerin uygulandığı modellerin analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen değerler ve çözümlenme Şekil 4.5’de gösterilmektedir. Stresin maksimum ve minimum değerleri model üzerinde gösterilmiştir.



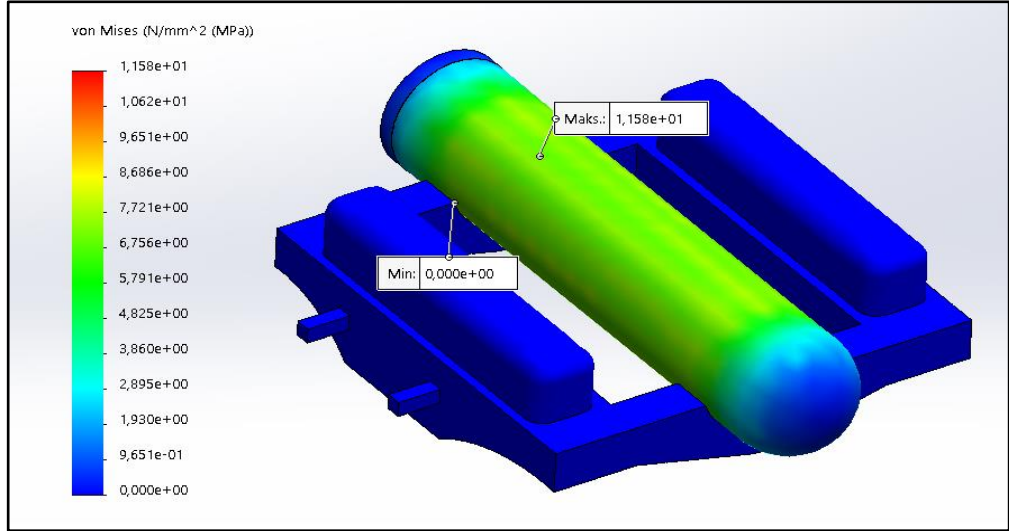
Şekil 4.5. 200 metrede sıkıştırılmış cam gövde için stres analizi

Basınç uygulanan modelde yer değiştirme çözümlemesi Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Maksimum yer değiştirme kırmızı renkle gösterilen uç kısımda gerçekleşir. Minimum yer değiştirme mavi renkle gösterilen birleşme kısmında oluşur. Maksimum yer değiştirme 0.02 mm dir.



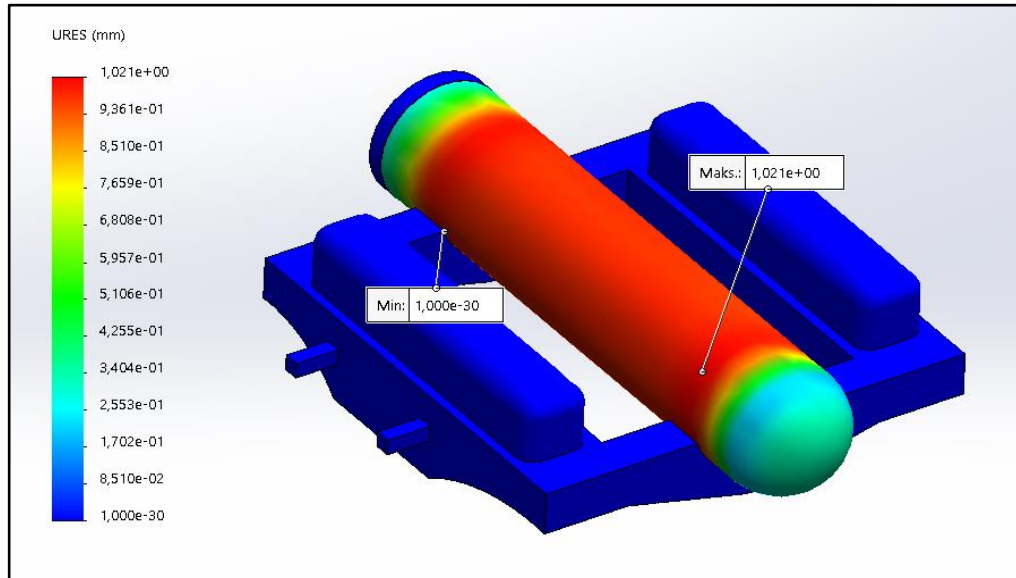
Şekil 4.6. 200 metrede sıkıştırılmış cam gövde için yer değiştirme analizi

200 metrede 2 MPa basınç altında polietilen gövdeye uygulanan basıncın gövde üzerindeki gerilmesi Şekil 4.7'da verilmiştir.



Şekil 4.7. 200 metrede polietilen gövde için stres analizi

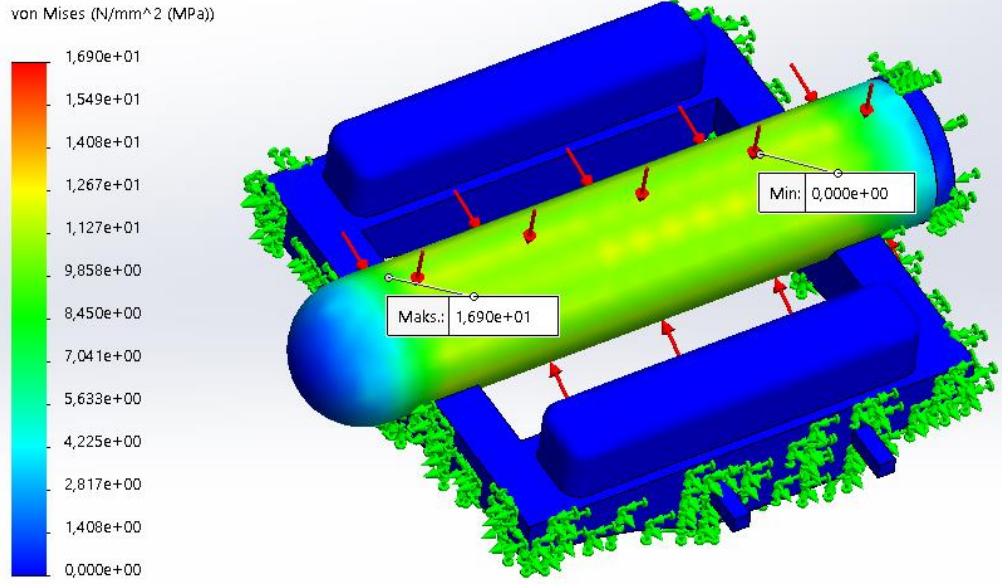
Aynı model için yer değiştirme Şekil 4.8'de verilmiştir. Maksimum yer değiştirme orta kısımda kırmızıyla gösterilen bölgede gerçekleşmektedir. Minimum yer değiştirme birleşim kısmında maviyle gösterilen kısımda oluşmaktadır. Maksimum yer değiştirme miktarı 1,02 mm dir.



Şekil 4.8. 200 metrede polietilen gövde için yer değiştirme analizi

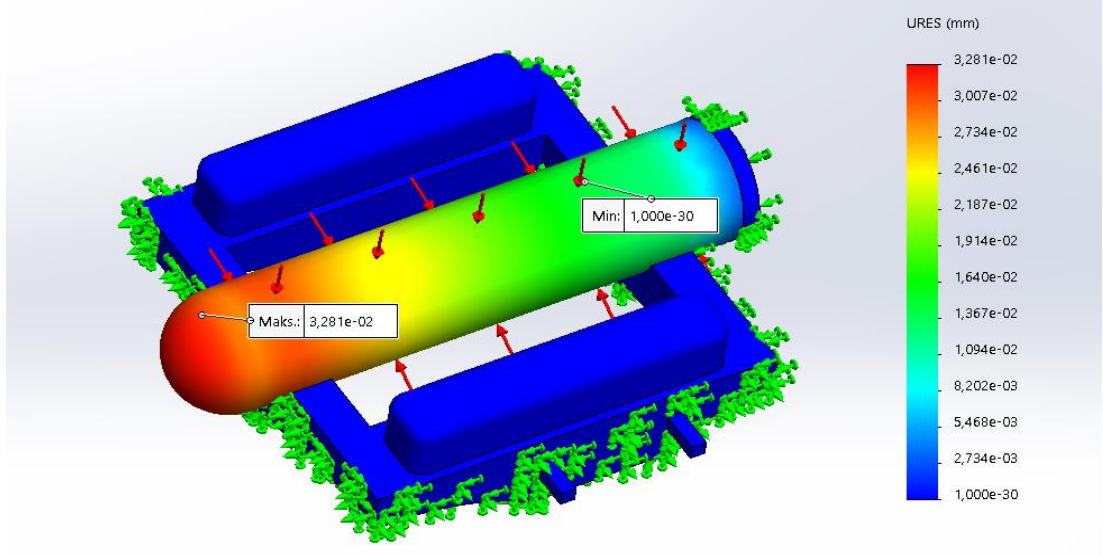
Üçüncü durumda 300 metre derinlikte aynı malzemelerin uygulandığı modellerin analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen değerler ve

çözümleme Şekil 4.9'de gösterilmektedir. Sıkıştırılmış cam gözvede stresin maksimum ve minimum değerleri model üzerinde gösterilmiştir. Stresin en büyük olduğu nokta gövdenin uç kısmındadır.



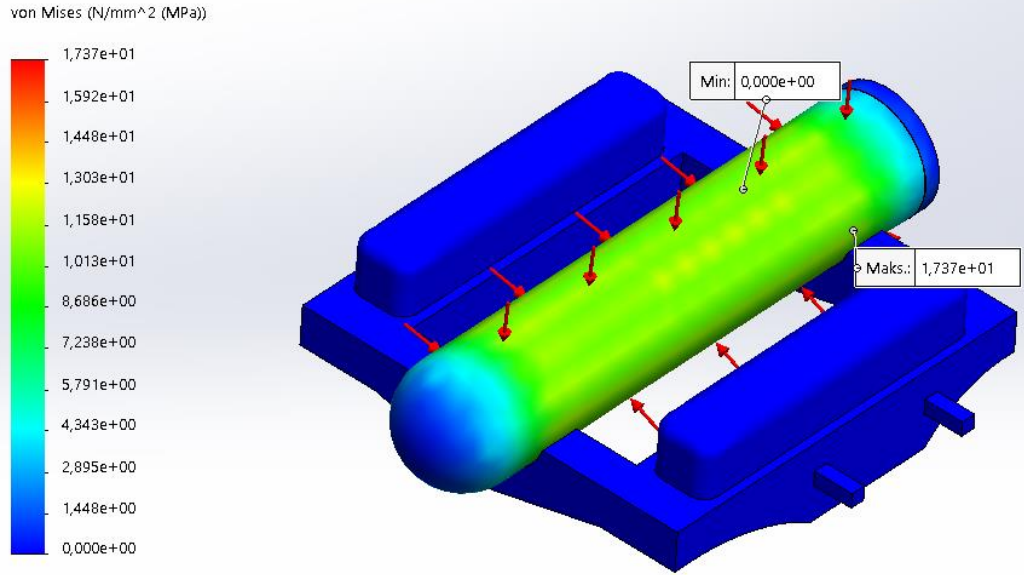
Şekil 4.9. 300 metrede sıkıştırılmış cam gövde için stres analizi

300 metre derinlik için için 3 Mpa basınç altında yer değiştirme çözümlemesi Şekil 4.10'da gösterilmektedir. Maksimum yer değiştirme kırmızı renkle gösterilen uç kısımda gerçekleşir. Minimum yer değiştirme mavi renkle gösterilen birleşme kısmında oluşur. Maksimum yer değiştirme 0,03 mm dir.



Şekil 4.10. 300 metrede sıkıştırılmış cam gövde için yer değiştirme analizi

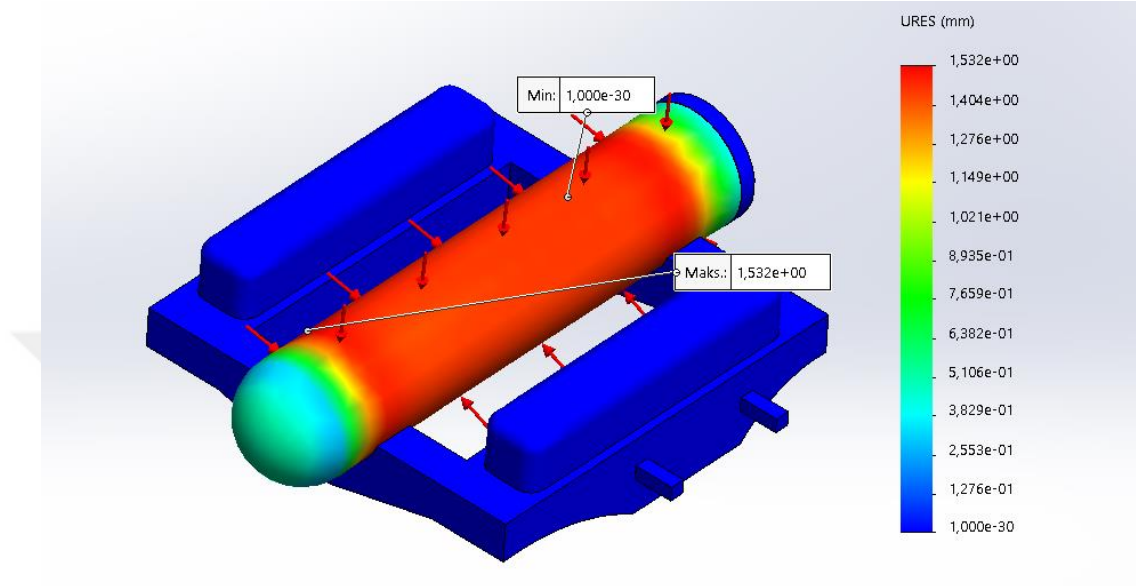
300 metrede 3 MPa basınç altında polietilen gövde için gerilme analizi Şekil 4.11'da verilmiştir. Maksimum gerilme 17.37 Mpa değerinde aracının arka kısmınının mesnetlendiği noktadadır.



Şekil 4.11. 300 metrede polietilen gövde için stres analizi

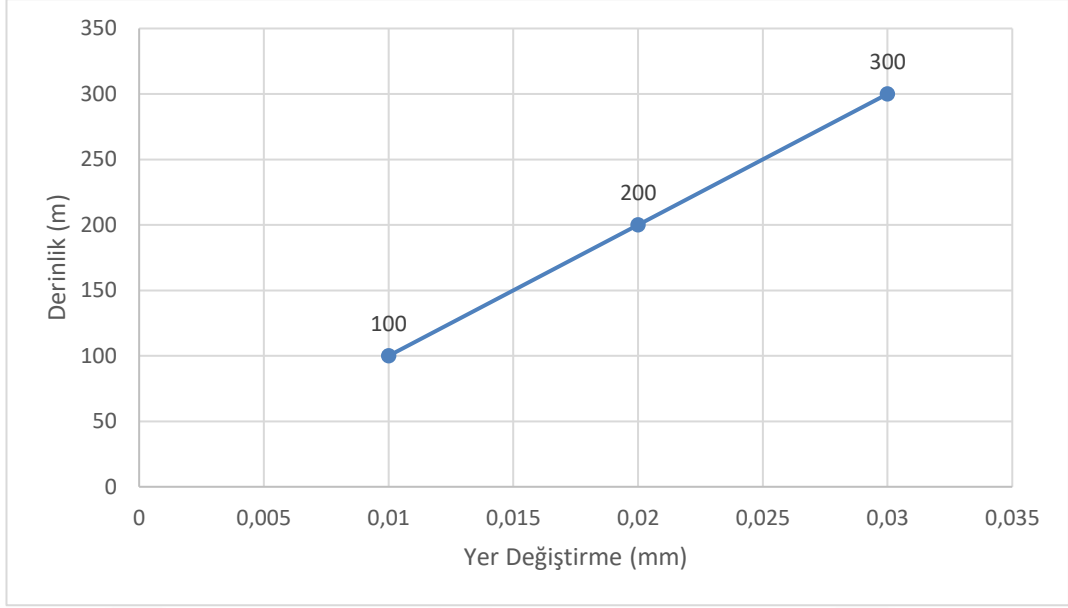
Basınç altındaki modelde meydana gelen yer değiştirme çözümlemesi Şekil 4.12' de gösterilmektedir. Maksimum ve minimum yer değiştirme noktaları model

üzerinde gösterilmiştir. Maksimum yer değıştirme kırmızı bölge olarak gösterilen saydam tüpün orta kısmında gerçekleşmektedir. Minimum yer değıştirme yatak ve saydam tüpün birleşim noktasında oluşmaktadır. Maksimum yer değıştirme 1,53 mm'dir.



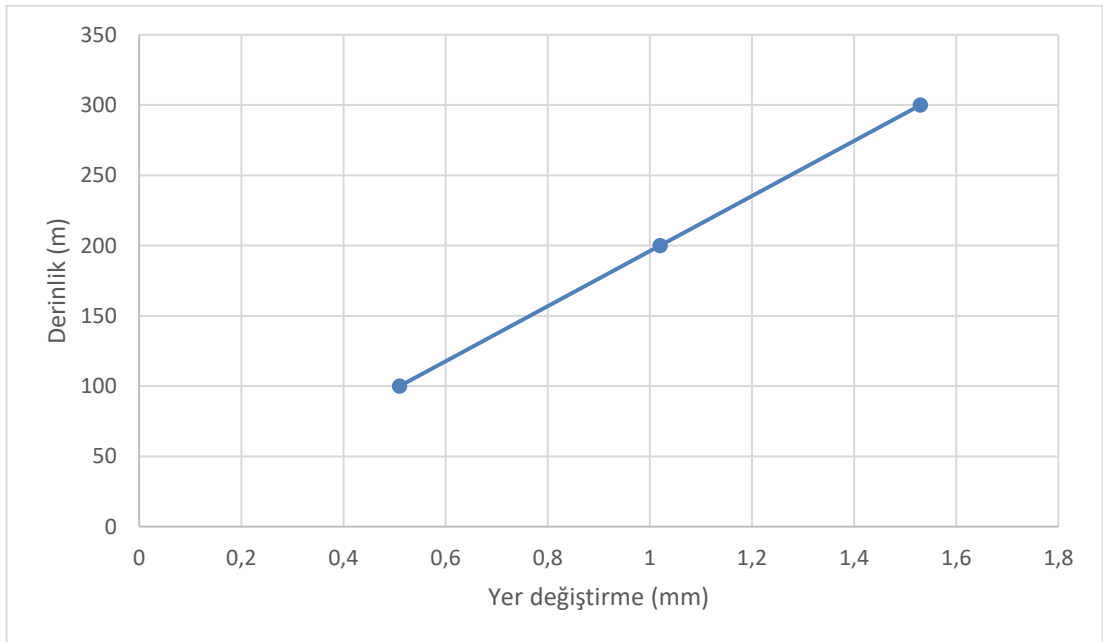
Şekil 4.12. 300 metrede polietilen gövde için yer değıştirme analizi

Üç farklı derinlikte yapılan basınç analizleri sonucunda sıkıştırılmış cam gövde üzerinde oluşan yer değıştirme miktarları Şekil 4.13 de gösterilmiştir. Artan derinlikle birlikte sıkıştırılmış cam gövde üzerinde meydana gelen yer değışme miktarının doğrusal olarak arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13. Sıkıştırılmış cam gövdenin derinliğe göre yer değiştirme grafiği

Üç farklı derinlikte yapılan basınç analizleri sonucunda polietilen gövde üzerinde oluşan yer değiştirme miktarları Şekil 4.14 de gösterilmiştir. Artan derinlikle birlikte polietilen gövde üzerinde meydana gelen yer değişme miktarının doğrusal olarak arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.14. Polietilen gövdenin derinliğe göre yer değiştirme grafiği

## 4.2. İnsansız Sualtı Aracı Modelinin Doğrusal Hareket Analizi

Bu bölümde Çizelge 3.8 de fiziksel parametreleri verilen sualtı aracına başlangıç değerleri verilerek MATLAB programı yardımı ile doğrusal hareket analizleri yapılmıştır. Doğrusal hareket analizleri (3.13) nolu denklemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

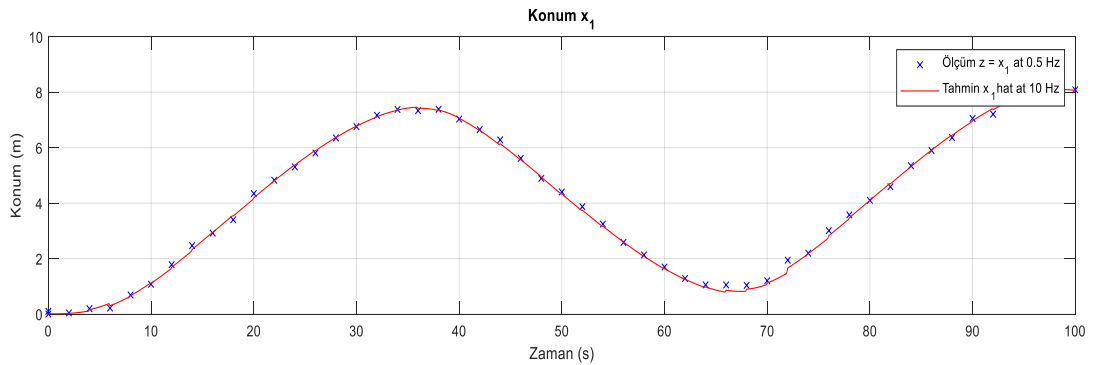
Başlangıç değerleri;

İtke kuvveti = 9.25 N

$X_1=0$  m,  $X_2=0$  m/s,  $\Psi=0$  derece,  $\emptyset=0$  derece,  $r=0$  derece/sn olarak alınmıştır.

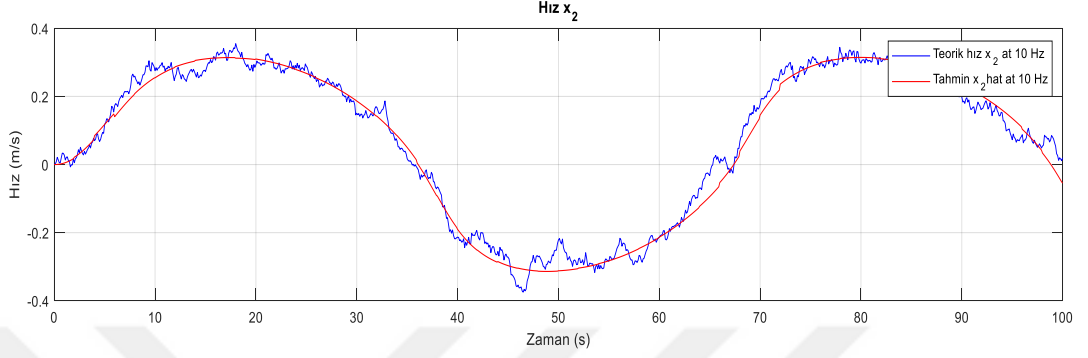
Söz konusu sualtı aracının matematiksel modelleme programında çözümlenmesi sonucu elde edilen değerler Şekil 4.15’de konum zaman grafiği, Şekil 4.16’de hız zaman grafiği, Şekil 4.17’de sapma hızı zaman grafiği, Şekil 4.18’da yalpalama açısı zaman grafiği, Şekil 4.19’de sapma açısı zaman grafiğinde gösterilmektedir.

Sualtı aracının x eksenindeki yaptığı hareket Şekil 4.15 te gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere sualtı aracı 100. saniyede x eksenini boyunca 8 metre yol almaktadır. Sualtı aracını matematiksel modeli referans alınarak MATLAB yazılım programında simulasyonu var olan sualtı aracı üzerinden alınan hareket verileri ile karşılaştırılarak verilmiştir.



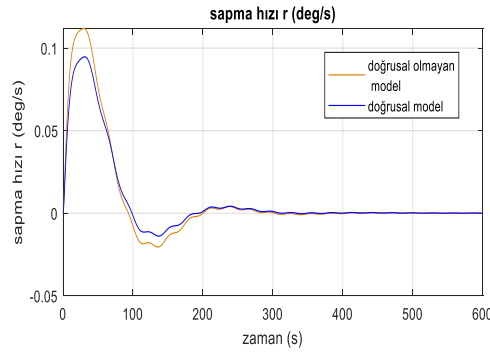
Şekil 4.15. Sualtı aracının x eksenindeki konum zaman grafiği

Sualtı aracının x eksenindeki doğrusal hızının değişimi 100 saniyelik zaman dilimi içerisinde Şekil 4.16 te verilmektedir. X eksenini boyunca ileri ve geri yönde hareket gerçekleştiğinden hızın negatif ve pozitif yönde değiştiği bu grafikte görülmektedir.



Şekil 4.16. Sualtı aracının x eksenindeki hız zaman grafiği

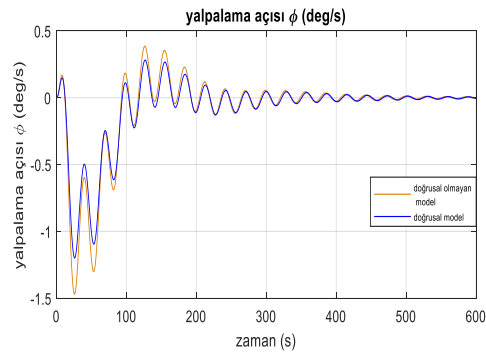
Sualtı aracı hareket ederken sapma açısının zamana bağlı olarak değişimi yani sapma hızı Şekil 4.17 te verilmektedir. Grafikten görüldüğü üzere sualtı aracı x eksenindeki hareketi boyunca kendi etrafındaki birim zamanda gerçekleştirdiği açı değişimi yani sapma hızı 300 saniye boyunca değişim göstermektedir.



Şekil 4.17. Sualtı aracının x eksenindeki sapma hızı zaman grafiği

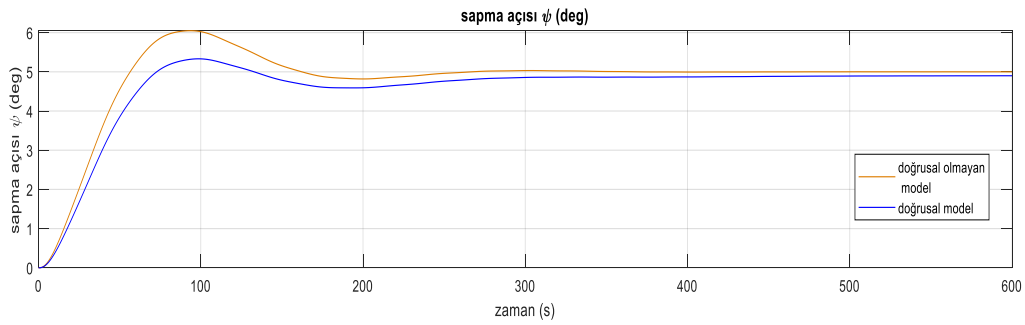
Sualtı aracının hareketi esnasında oluşan yalpalama açısının değişimi Şekil 4.18 da verilmektedir. Şekil'den görüldüğü üzere x eksenindeki 100 saniye boyunca gerçekleşen doğrusal hareket tamamlanmasına rağmen sualtı aracının halen

yalpalama yaptığı görülmektedir. Bunun sebebi ise sualtında öngörülemeden dinamik unsurlardan dolayı (akıntı, dalga, motor, vs.) meydana gelen etkilerdir.



Şekil 4.18. Sualtı aracının x eksenindeki zamana göre yalpalama açısı grafiği

Sualtı aracının hareketi boyunca sapma açısında meydana gelen değişim Şekil 4.19 de simule edilmektedir. Grafikten görüldüğü üzere x eksenindeki doğrusal hareket tamamlandığında sapma açısının 5 dereceye yakın bir açıda sabit kaldığı görülmektedir.



Şekil 4.19. Sualtı aracının x eksenindeki zamana göre sapma açısı grafiği

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir insansız sualtı keşif aracının doğrusal hareketini incelemek amacıyla literatür çalışmalarından faydalanılarak sualtı aracının matematiksel modeli oluşturulmuş ve üç farklı derinlikte iki farklı malzeme için basınç analizleri yapılmıştır. Bu model literatür çalışmaları referans alınarak oluşturulduğundan farklı sualtı aracı modelleri için temel teşkil edecektir. Ancak bu modelin anlamlı çıktıları için gerçek bir sistem üzerinde test edilmesi, gerçek sistem verileri ile bu model ile elde edilen çıktıların karşılaştırılması gerekmektedir. Çünkü sualtı araçları karmaşık dinamiklere sahip olduğundan gerçek veriler ile oluşturulan model ile elde edilen model arasında farklılık olacağı düşünülmektedir.

Gerçekleştirilen basınç analizleri sonucunda yer değiştirme miktarı göz önüne alındığında sıkıştırılmış cam gövdenin polietilen gövdeye kıyasla daha dayanıklılığı olduğu gözlemlenmiştir. Seçilen her iki malzemedede yer değiştirme artan derinlikle birlikte doğrusal olarak artmaktadır.

Sualtı araçlarının matematiksel modeli oluşturulurken doğrusal ve doğrusal olmayan modeller oluşturulabilmektedir. Bu modeller arasında gerçek veriler ile model verileri arasında ortaya çıkan farklılıklar gibi bir takım farklı çıktılar elde edilmektedir. Çünkü daha önce bahsedildiği gibi sualtı araçlarının dinamik yapısını bir matematiksel modele çevirebilmek güç olduğundan bazı kabuller yapılarak sualtı aracının dinamik yapısını temsil eden modelden farklı bir dinamik model elde edilmektedir. Aynı zamanda bu doğrusal olmayan dinamik model yine bazı kabuller yapılarak doğrusal hale getirildiğinde bambaşka bir model ortaya konulmaktadır. Bunun sonucunda kabuller yapılarak elde edilen modeller sualtı aracının dinamik yapısını tam olarak karşılayamamaktadır. Bu oluşan farkları karşılayabilmek için çeşitli kontrol yöntemleri kullanılarak sualtı aracının dinamik yapısını temsil eden en uygun matematiksel model ortaya konulmalıdır. Bu çalışmada sualtı aracının matematiksel modeli en temel hareket denklemlerinden türetilmiştir. Daha sonra bu modelin simülasyonunu

gerçekleştirmek için bir yazılım programından faydalanılmıştır. Bu program ile sualtı aracının hareketlerini gösteren çeşitli grafikler elde edilmiştir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen modelin iyileştirilmesi için sualtı aracına farklı kontrol yöntemleri uygulanması mümkündür. Aynı zamanda sualtı aracının hareketlerini tam olarak temsil edebilmek için gerçek veriler ile sualtı aracı modeli verileri arasında karşılaştırma yapmak mümkündür.



## KAYNAKLAR

- Drozeski, G. R., 2005. A Fault-Tolerant Control Architecture for Unmanned Aerial Vehicles. Georgia Institute of Technology, Georgia.
- Fossen, T.I., 1994. Guidance and Control of Ocean Vehicles, John Wiley & Sons, New York.
- Gertler, M. H., 1967. Standart equations of motionfor submarine simulations. NSRDC Report No. 2510.
- Gonzalez, L. A., 2004. Design, modelling and control of an autonomous underwater vehicle. BE Thesis, The University of Western Australia, Australia.
- Gül, U.D., Leblebici, K., 2011. Otonom su altı aracı modellemesi, denetimi ve hareket planlama tasarımı. Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Healey, A. J., & Good, M. R., 1992. The NPS AUVII Autonomous Underwater Vehicle Testbed: Design and Experimental Verification. Naval Engineers Journal, 104, 191–202.
- Triantafyllou, M. S., & Hover, F. S., 2002. Maneuvering and control of marine vehicles, Technical report. Massachussets Institute of Technology, Boston.
- REMUS, 2015. Autonomous underwater vehicles. Erişim Tarihi: 08.11.2018 <http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/D5682F98CBFBC05AC1257497002976E4?>
- Claudio P., 2014. Pioneer Work Class ROVs. Erişim Tarihi: 21.11.2018 [https://www.marinetechnews.com/blogs/pioneer-work-class-rovs-\(curv-iii-21\)-e28093-part-2-700496](https://www.marinetechnews.com/blogs/pioneer-work-class-rovs-(curv-iii-21)-e28093-part-2-700496)
- Marchand C., 2017. Underwater vehicles play major role in Ex environments: Erişim Tarihi: 15.04.2019 <https://www.iecotech.org/IEC/Conformity-Assessment/2019-01/ROVs-AUVs-and-AIVs>

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatih ALBAYRAK  
Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1992  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : fatih.albayrak47@gmail.com

Taranmış  
Fotoğraf  
(3.5cm x 3cm)

## Eğitim Durumu

Lise : İzmit Gazi Lisesi, 2009  
Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği

## Mesleki Deneyim

## Yayımları