

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**ASKERİ DENİZALTI LARDA, MUKAVİM TEKNE YAPISAL
ÖZELLİKLERİNİN ÖN TASARIM AŞAMASINDA
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kerem ÖZDEMİR

Savunma Teknolojileri Tezli Yüksek Lisans Programı

AĞUSTOS 2021

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**ASKERİ DENİZALTI LARDA, MUKAVİM TEKNE YAPISAL
ÖZELLİKLERİNİN ÖN TASARIM AŞAMASINDA
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Kerem ÖZDEMİR
(191202002)**

Savunma Teknolojileri Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Ali BAYKAL

AĞUSTOS 2021



**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MÜDÜRLÜĞÜ**

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz Savunma Teknolojileri Tezli Yüksek Lisans Programı 191202002 numaralı öğrencisi Kerem Özdemir'in çalışması, 11.08.2021 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/ oy çokluğu ile Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

- 1) Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Ali Baykal**
- 2) Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üy. Bülent İmamoğlu**
- 3) Jüri Üyesi: Prof. Dr. Gökhan Bulut**

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “ASKERİ DENİZALTI LARDA, MUKAVİM TEKNE YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN ÖN TASARIM AŞAMASINDA DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün 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. (11/08/2021)

Aday / İmza





Aileme,

ÖNSÖZ

Öncelikle tez konusunu seçerken isteklerimi göz önünde bulundurup bana yardımcı olan tez danışmanım Prof. Dr. Mehmet Ali BAYKAL'a teşekkürlerimi sunarım. Tez döneminde bana yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Bülent İmamoğlu'na da teşekkürlerimi sunarım. Tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ağustos 2021

Kerem Özdemir



İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|--|-------------|
| KISALTMALAR | vii |
| ÇİZELGE LİSTESİ | viii |
| ŞEKİL LİSTESİ | ix |
| ÖZET | xi |
| ABSTRACT | xii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. DENİZALTI TARİHÇESİ | 3 |
| 3. DENİZALTI GÖVDE TASARIMI | 6 |
| 3.1 Denizaltılarda Yapısal Analiz | 8 |
| 3.2 Sonlu Elemanlar | 9 |
| 4. ANALİZ | 10 |
| 4.1 Katı Model Tasarımı | 10 |
| 4.2 Ağ Yapısı Ayarları | 12 |
| 4.3 Sınır Koşullarının Belirlenmesi ve Parametre Atanması..... | 14 |
| 4.4 Malzeme | 15 |
| 5. ANALİZ SONUÇLARI | 16 |
| 5.1 Malzemelere Göre Analiz Sonuçları | 19 |
| 5.1.1 Hy-80 ve Hy-100 | 19 |
| 5.1.2 Ah-36 | 23 |
| 5.1.3 Ti-6211 Alaşımı | 26 |
| 5.1.4 Grade A Çelik | 28 |
| 5.2 Çapın Mukavim Teknesine Etkisi | 31 |
| 5.3 Postalar Arası Mesafenin Çapa Oranının Etkisi | 32 |
| 5.4 Yapısal Ağırlık ile Ezilme Derinliklerinin İlişkisi | 35 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER | 37 |
| KAYNAKLAR | 38 |
| ÖZGEÇMİŞ | 39 |

KISALTMALAR

| | |
|----------------------|---|
| BV | : Bureau Veritas |
| D | : Çap |
| FEM | : Sonlu Elemanlar Metodu |
| GPa | : Gigapascal |
| kg | : Kilogram |
| L_p | : Postalar arası mesafe |
| m | : Metre |
| mm | : Milimetre |
| M_p | : Posta miktarı |
| MPa | : Megapascal |
| P | : Basınç |
| P_A | : Kazara ani dalış basıncı |
| P_N | : Nominal dalış basıncı |
| SEA | : Sonlu Elemanlar Analizi |
| t | : Sac kalınlığı |
| t_p | : Postanın sac kalınlığı |
| Umk | : Derinlik |
| USS | : Amerika Birleşik Devletleri Gemisi (United States Ship) |

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Çizelge 3.1: BV standartlarında denizaltılar için ortam koşulları..... | 8 |
| Çizelge 4.1: Malzemelerin özellikleri..... | 10 |
| Çizelge 4.2: Postalar arası mesafe ve miktarı. | 10 |
| Çizelge 4.3: Ağ yapısı istatistikleri..... | 13 |
| Çizelge 5.1: Analizde kullanılan mukavim teknesi modelleri..... | 17 |
| Çizelge 5.2: Modellerin yapısal ağırlıkları | 20 |
| Çizelge 5.3: Ah-36 için modellerin yapısal ağırlıkları | 24 |
| Çizelge 5.4: Ti-6211 alaşımı için modellerin yapısal ağırlıkları | 27 |
| Çizelge 5.5: Grade A çeliği için modellerin yapısal ağırlıkları | 29 |
| Çizelge 5.6: Modellerin yapısal ağırlıkları | 31 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | Sayfa |
|---|--------------|
| Şekil 2.1: Drebber'in denizaltısı..... | 3 |
| Şekil 2.2: USS Holland (SS-1) | 4 |
| Şekil 2.3: USS Triton (SSN-586) 1960 Atlantik'te ilerlerken. | 5 |
| Şekil 3.1: Solda tek gövdeli ve sağda iki gövdeli denizaltılar için balast tank yerleşimi..... | 6 |
| Şekil 3.2: Delta-3 denizaltısının iki gövde tasarımı..... | 7 |
| Şekil 3.3: USS Seawolf (SSN-21) tekli gövde tasarımı | 7 |
| Şekil 4.1: Postalar arası mesafe ve miktarı. | 11 |
| Şekil 4.2: Modelin kesit görünüşü. | 11 |
| Şekil 4.3: Modelin teknik çizimi | 12 |
| Şekil 4.4: Postanın teknik çizimi | 12 |
| Şekil 4.5: Mukavim teknesinin ağ yapısı..... | 13 |
| Şekil 4.6: Mukavim teknesinin ağ yapısı kesit görüşü. | 14 |
| Şekil 4.7: Uçlardan dairesel kayıcı ve ortadan sabit mesnetleme..... | 15 |
| Şekil 4.8: Kayıcı mesnet (yeşil ile işaretlenen yüzeyler). | 15 |
| Şekil 5.1: Analiz için işlem döngüsü | 16 |
| Şekil 5.2: Hy-80 malzemesi için derinlik ile LP/D grafiği. | 20 |
| Şekil 5.3: Hy-100 malzemesi için derinlik ile LP/D grafiği. | 21 |
| Şekil 5.4: Hy-80 için yapısal ağırlık/derinlik oranı. | 21 |
| Şekil 5.5: Hy-100 için yapısal ağırlık/derinlik oranı. | 21 |
| Şekil 5.6: 300 metre derinlikte Model_A.1.5 için von-Mises gerilmeler. | 22 |
| Şekil 5.7: 300 metre derinlikte Model_A.1.5 için von-Mises gerilmeleri. | 22 |
| Şekil 5.8: 300 metre derinlikte Model_A.2.5 için von-Mises gerilmeleri. | 23 |
| Şekil 5.9: 300 metre derinlikte Model_A.2.5 için von-Mises gerilmeleri. | 23 |
| Şekil 5.10: Ah36 malzemesi için derinlik ile LP/D grafiği. | 24 |
| Şekil 5.11: Ah-36 için yapısal ağırlık/derinlik oranı. | 25 |
| Şekil 5.12: 300 metre derinlikte Model_A.3.5 için von-Mises gerilmeleri. | 25 |
| Şekil 5.13: 300 metre derinlikte Model_A.3.5 için von-Mises gerilmeleri. | 26 |
| Şekil 5.14: Ti-6211 alaşımı malzemesi için derinlik ile LP/D grafiği. | 27 |
| Şekil 5.15: Ti-6211 alaşımı için yapısal ağırlık/derinlik oranı. | 27 |
| Şekil 5.16: 300 metre derinlikte Model_A.4.5 için von-Mises gerilmeleri. | 28 |
| Şekil 5.17: Grade A çeliği malzemesi için derinlik ile LP/D grafiği. | 29 |
| Şekil 5.18: Grade a çeliği için yapısal ağırlık/derinlik oranı. | 29 |
| Şekil 5.19: 300 metre derinlikte Model_A.5.5 için von-Mises gerilmeleri. | 30 |
| Şekil 5.20: 300 metre derinlikte Model_A.5.5 için von-Mises gerilmeleri. | 30 |
| Şekil 5.21: Ah-36 ve Hy-80 için mukavim teknesinin çapına göre ezilme derinliği. | 31 |
| Şekil 5.22: Ah-36 ve Hy-80 malzemeleri için 20mm sac kalınlığında yapısal ağırlık/derinlik oranı..... | 32 |
| Şekil 5.23: $t/D = 0,002857$ için derinlik ile LP/D grafiği. | 33 |
| Şekil 5.24: $t/D = 0,003429$ için derinlik ile LP/D grafiği. | 33 |

| | |
|--|----|
| Şekil 5.25: $t/D = 0,004$ için derinlik ile LP/D grafiği..... | 33 |
| Şekil 5.26: $t/D = 0,004571$ için derinlik ile LP/D grafiği..... | 34 |
| Şekil 5.27: $t/D = 0,005143$ için derinlik ile LP/D grafiği..... | 34 |
| Şekil 5.28: $t/D = 0,05714$ için derinlik ile LP/D grafiği..... | 34 |
| Şekil 5.29: Malzemelere göre ezilme derinlikleri ve yapısal ağırlıkları..... | 35 |
| Şekil 5.30: Malzemelere göre ezilme derinlikleri ve yapısal ağırlıkları (17 posta)... | 35 |
| Şekil 5.31: Malzemelere göre ezilme derinlikleri ve yapısal ağırlıkları (33 posta)... | 36 |
| Şekil 5.32: Malzemelere göre ezilme derinlikleri ve yapısal ağırlıkları (67 posta)... | 36 |



ASKERİ DENİZALTI LARDA, MUKAVİM TEKNE YAPISAL

ÖZELLİKLERİNİN ÖN TASARIM AŞAMASINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu tezin konusu, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak denizaltı mukavim teknesinin yapısal tasarımını değiştiği zaman, ezilme derinliğinin nasıl etkilendiği hesaplamaktır. Denizaltılar günümüzde önemli bir güç çarpanıdır. Denizaltılarda gizlilik en önemli özelliğidir. Bu gizliliği kullanarak istihbarat, kargo ya da özel kuvvet personelini taşıma, ani saldırı gibi avantajları vardır. Günümüzde savunma sanayi hızlı gelişmektedir. Geçmişte ve günümüzde savunma sanayi, ülkeler için önemli bir yere sahiptir. Aynı zamanda stratejik önem ve ülkelerin birbiri ile rekabeti açısından bu gelişmeden geri kalınmaması gerekmektedir. Gelişen teknoloji ile günümüzde bilgisayar ortamında sonlu elemanlar yöntemi gelişmiş ve daha geniş kullanım alanı olmuştur. Bilgisayar ortamında sonlu elemanlar yöntemi kullanılması, gerçek boyutta sürekli model yapmayarak maliyetten ve zamandan tasarruf edilmektedir.

Bu çalışmada, denizaltının mukavim teknesi için farklı tasarımlar seçilmiştir. Bu tasarımlardaki değişkenler; 5 farklı malzeme, 3 farklı çap, 4 farklı postalar arası mesafe ve 6 farklı sac kalınlığı ile ezilme derinliği incelenmiştir. Bu tez, teorik bir çalışmadır. Bu çalışmada kullanılan denizaltı mukavim teknesi tasarımı, Ansys Workbench programından static structural modülü kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan modellerin yapısal tasarımı, Ansys Workbench programı içerisinde bulunan Spaceclaim programı kullanılarak üç boyutlu çizilmiştir. Analiz sonuçlarının karşılaştırılması, kategorilerin kendi içinde ve birbirleriyle grafikler ve Çizelgeler ile yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Ansys Workbench, Denizaltı, ezilme derinliği, Analiz, Mukavim teknesi, Sonlu elemanlar yöntemi, SEY.*

**IN MILITARY SUBMARINE, PRESSURE HULL STRUCTURAL
CHARACTERISTICS OF EVALUATION OF PRELIMINARY DESIGN**

ABSTRACT

The subject of this thesis is to calculate how the crush depth is affected when the structural design of the submarine pressure hull is changed using the finite element method. Submarines are an important power factor today. Stealth is the most important feature of submarines. Using this secrecy has advantages such as intelligence, cargo or special forces transport, sudden attack. Nowadays, the defense industry is developing rapidly. In the past and present, the defense industry has an important place for countries. At the same time, countries have to develop in this sector in order to compete with each other. The finite element method in the computer has developed and become an extensive area of use thanks to the developing technology. Using the finite element method in the computer environment saves cost and time due to not making a continuous model in real size.

In this project, different designs were selected for the durable hull of the submarine. The crushing depth was examined with variables. Variables in these designs; five different materials, three different diameters, four different frame spacings and six different sheet thicknesses. This thesis is a theoretical work. The submarine pressure hull design used in this project was analyzed using the static structural module from the Ansys Workbench program. The structural design of the models used in this project was drawn in three dimensions using the Spaceclaim program from the Ansys Workbench program. Comparison of analysis results was made with graphs and charts.

Keywords: *Ansys Workbench, Submarine, Crush depth, Analysis pressure hull, Finite element method, FEM.*

1. GİRİŞ

Günümüzde sualtı gücü giderek daha önemli bir güç çarpanı haline gelmiştir. İkinci Dünya Savaşı öncesinde ve sırasında, denizaltıların birincil rolü su üstü gemilerine saldırmaktı. Denizaltılar saldırı için su üstünde kullanabilecekleri güverte üzerinde konuşlandırılmış klasik ateşli silahları kullanıyorlardı. Alternatif olarak su altından torpido kullanıyorlardı. Klasik denizaltılar her iki Dünya Savaşında da ikmal konvoyları gemilerinin batırılmasında ve tedarik hatlarını tahrip edilmesinde önemli bir role sahip olmuşlardır. Denizaltılar, etkin bir saldırı silahı olmanın yanında, düşman bölgelerinde istihbarat, kargo ve askeri güç taşımak içinde kullanılabilirdi. 20. Yüzyılın başlarında mayınlama amacıyla da denizaltılar kullanılmaya başlandı.

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra, güdümlü torpidoların, gelişmiş sonar sistemlerinin ve nükleer tahrikin sistemlerinin gelişmesiyle, denizaltılar daha efektif bir şekilde kullanılmaya başlandı. Denizaltıların balistik füze ve seyir füzelerini fırlatma kabiliyeti kazanmasıyla, uzun menzilden kara veya deniz hedeflerine saldırı yeteneği kazanıldı.

Denizaltıların en önemli yeteneği, zor tespit edilebilmeleri, akustik izlerinin düşük olmasıdır. Ses suda, havaya göre daha iyi iletilebildiği için, denizaltı gemileri uzaktan tespit, izleme yeteneğine sahip sualtı platformudur. Günümüzdeki denizaltılar akustik izlerinin düşük olması odaklı olarak tasarlanmıştır. Denizaltının form tasarımı, pervane tasarımı ve denizaltı içinde kullanılan sistem ve ekipmanlar, düşman tarafında tespit edilme ihtimalinin en az olması için tasarlanmıştır. Gizlenmiş askeri denizaltı, tüm deniz platformları için gerçek bir tehdit oluşturur. Düşman silahlı kuvvetleri bu tehditi önlemek, kontrol altına almak için çok geniş deniz alanlarında arama yapmaya ve gemilerini denizaltı saldırılarına karşı korumak için, kaynaklarını tahsis etmeye zorlanabilir.

Görevi gereği denizaltıların dalış derinliklerine göre mukavim teknolojilerinin, derinlikten kaynaklı su basıncına dayanması gerekmektedir. Derinlik arttıkça denizaltının maruz kaldığı basınç artmakta yapısal elemanlar üzerindeki gerilmelerde buna paralel olarak yükselmektedir. Derinlik her 10 metre arttığında, denizaltı üzerindeki 1 atmosfer basınca (1 bar) daha artar. Denizaltının operasyonel derinliği, hedeflenen operasyonel

sürekli olarak inebileceği derinliktir. Test derinliği ise, denizaltının normal koşullarda test edildiği maksimum derinliktir. Test derinliği, Birleşik Devletler Donanması denizaltıları için tasarım derinliğinin 2/3'üne karşı gelirken, İngiliz Kraliyet Donanması test derinliğini tasarım derinliğinin 4/7'sine ve Alman Donanması ise tasarım derinliğinin yarısı olarak kabul ederler. Ezilme derinliği, denizaltının basınç etkisiyle yapısal bütünlüğünün bozulacağı derinliktir.

Ezilme derinliği kolayca artırılmaz. Sac kalınlığını kalınlaştırmak deniz altının toplam ağırlık arttırır. Bu da gemideki ekipman ağırlığının azaltılmasını gerektirir.

Birinci Dünya Savaşında kullanılan denizaltıların genelde ezilme derinlikleri 100 metreydi. İkinci Dünya Savaşında ezilme derinliği 200 metre olmuştur. Günümüzde 250 metre ile 400 metre arasında ezilme derinliğine sahip denizaltılar mevcuttur. Daha derine dalmak için titanyum alaşım gövdeli denizaltılar tasarlanmıştır. Titanyum, çelikten daha hafif ve daha dayanıklıdır. Titanyum ferromanyetik olmadığından denizaltının gizliliği için önemlidir.

Bu çalışmada malzemelerin, denizaltı yapısal elemanlarının tasarım özellikleri, mukavim teknesinin sac kalınlığı ve postalar arası mesafenin, ezilme derinliğine nasıl bir etkisi olduğu analiz edilmiştir. Analizler Ansys programında, static structural modülü kullanılarak yapılmıştır. Malzemenin maksimum çekme dayanımı arttıkça, postalar arasında mesafe azaldıkça ve mukavim teknesinin kaplama sac kalınlığı arttıkça, denizaltının ezilme derinliği artması amaçlanmaktadır.

2. DENİZALTI TARİHÇESİ

Denizaltı, deniz yüzeyinin altında ve üstünde bağımsız şekilde hareket edebilen savaş veya araştırma yapan bir deniz aracıdır. Denizaltılar için 15. yüzyılda ilk çalışmalar başlamıştır. 1465 yılında Konrad Kyeser deniz altından giden araç için tasarım yapmıştır. 16. yüzyılın başlarında Leonardo da Vinci da denizaltı için tasarımlar yapmıştır. Cornelius Drebbel ile William Bourne, 1620 yılında İngiltere Kralı olan 1. James'in isteği üzerine denizaltı inşa etmişlerdir. Bu denizaltı hareketini kürekler ile yapıyordu ve 3,5 metre derinliğe kadar dalabiliyordu. Su altında oksijen kaynağı olarak, potasyum nitrat yakarak elde etmiştir. Şekil 2.1' de Drebbel'in denizaltısının çizimi gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Drebbel'in denizaltısı

Kaynak: G.H.Tweedale, The Royal Navy Submarine Museum

Askeri amaçlarla kullanılan ilk denizaltı ABD’li David Bushnell tarafından inşa edilen Turtle (Kaplumbağa) isimli denizaltı olmuştur. 1776 yılında su altına dalan Turtle denizaltısının gövdesi meşe odunundan yapılmıştı.

On dokuzuncu yüzyılda birçok denizaltı modeli geliştirilecektir. Ancak denizaltılar yirminci yüzyılın başına kadar donanmalarda aktif görev almayacaklardı. Birinci Dünya savaşında denizaltılar, deniz savaşlarındaki asıl üstünlüklerini göstereceklerdi. 1881 yılında John Holland suyun üzerindeyken benzinli motorla, su altında ise elektrikli motorla çalışan Fenian Ram adında modern bir denizaltı tasarladı. Şekil 2.2’de Holland’ın tasarladığı USS Holland denizaltısının fotoğrafı verilmiştir. Daha sonra Holland, ABD Donanması’na 15 metre uzunluğunda ve üç adet torpido taşıyan USS Holland adında bir denizaltı sattı. Devamında başka ülkeler için denizaltı üretmeye devam etti. İstanbul tersanesinde, Nordenfelt patenti ile 1886 yılında inşa edilen Abdülhamit ve 1887 yılında inşa Abdülmecit isimli denizaltılar, Osmanlı donanmasına 22 Mart 1888 yılında katılmışlardır. 1888 yılında Abdülhamit denizaltısı, su altından torpido atarak boş bir gemiyi batırmıştır. Bu torpido atışı tarihte ilk kez su altından torpido atabilen denizaltı olmuştur. 1904 yılında Fransızların yapmış olduğu Aigrette denizaltısı, su yüzeyinde dizel motoru ve su altında elektrik motoru kullanmıştır.



Şekil 2.2: USS Holland (SS-1)

Kaynak: Historic American Buildings Survey (Library of Congress), j1723

Denizaltıların önemi İkinci Dünya Savaşında daha net anlaşılmıştır. İkinci Dünya Savaşından sonra denizaltı teknolojileri hızla gelişmeye devam etmiştir. 1953 yılında yapılan USS Albacore denizaltı gövdesi gözyaşı damlası tasarımına sahiptir. Bu gövde tasarımının amacı, daha hızlı gidebilmek ve daha iyi manevra yapabilmektir. Haziran 1953'te Amerikan USS Tunny denizaltısından güdümlü nükleer füze ilk kez başarıyla fırlatmıştır. Amerika Birleşik Devletleri 1954 yılında ilk nükleer tahrik kullanan denizaltı olmuştur. 1959 yılında Sovyetler Birliği'nin ilk nükleer denizaltısı olan Project 627 yapıldı. Günümüzde altı ülke nükleer tahrikli denizaltı kullanmaktadır. Bu ülkeler; Amerika Birleşik Devletleri, Rusya, Fransa, Birleşik Krallık, Çin ve Hindistan'dır. İklimlendirme sistemlerinin gelişmesiyle, oksijenin deniz suyundan elde edilmesi ve denizaltıların yüzeye çıkmadan aylarca kalabilmesini sağlamıştır. Yiyecek stokları ve denizaltı mürettebatın moralleri, su altında kalma süresini kısıtlayan faktördür. 1960 yılında Amerika'nın USS Triton denizaltısı yüzeye çıkmadan dünyanın çevresini dolaşmıştır. Şekil 2.3' de, USS Triton denizaltısının 1960 yılında Atlantik'te fotoğrafı.

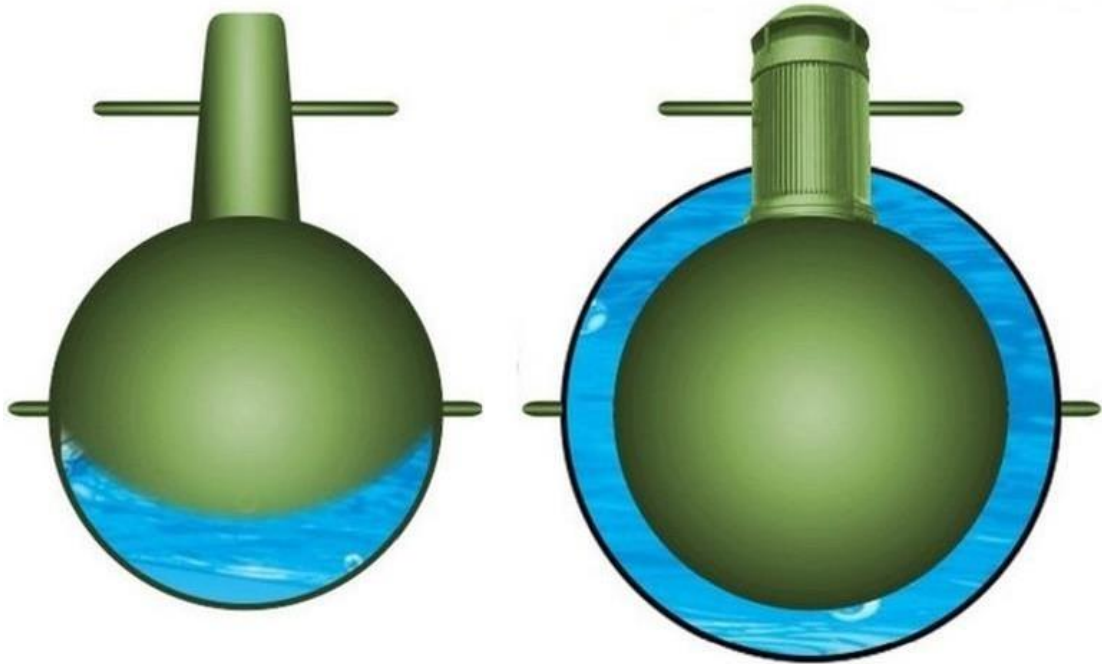


Şekil 2.3: USS Triton (SSN-586) 1960 Atlantik'te ilerlerken

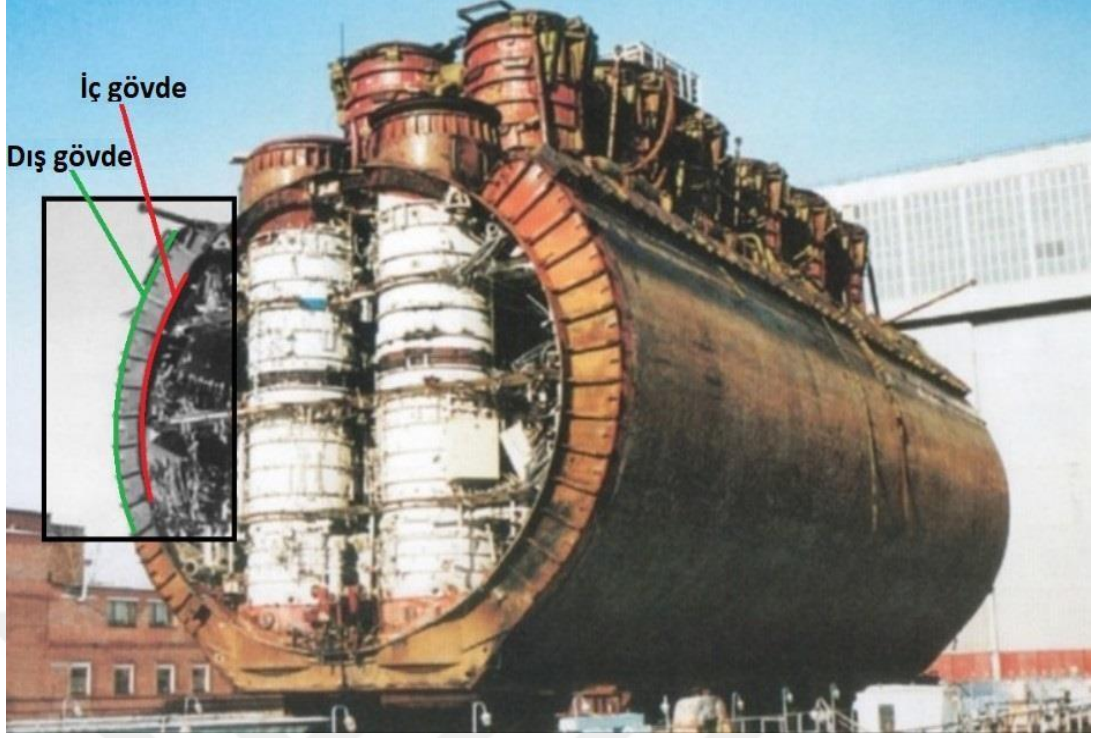
Kaynak: National Archives photograph, USN 1122245

3. DENİZALTI GÖVDE TASARIMI

Denizaltılarda tekli ya da iki cidarlı gövde tasarımları vardır. Amerika Birleşik Devletleri ve batılı ülkeler tek gövdeli denizaltı tasarımını kullanırken, Rusya ve Çin, çift gövdeli denizaltı tasarımı tercih ediyorlardı. Çift gövdeli tasarıma sahip olan denizaltılar, iç gövdesi değişen çaplarda olsa bile dış gövdesi pürüzsüz olabileceğinden, daha aerodinamik gövde formuna izin vermektedir. Çift gövdeli denizaltılarda balast tankları 2 gövde arasına koyulmaktadır. Şekil 3.1’ de tek gövdeli ve iki gövdeli denizaltılar için balast tank yerleşimi gösterilmiştir. Aynı zamanda bu tasarımda bazı ekipmanlar 2 gövde arasına konulabilir. Çift gövdeli denizaltıların üretimi ve bakımı zordur. Çift gövdeli tasarımlar, tek gövdeli tasarımlar göre %5 daha mukavemettir. Şekil 3.2’ de iki gövdeli denizaltı gövde tasarımı ve Şekil 3.3’ de tek gövdeli denizaltı gövde tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Solda tek gövdeli ve sağda iki gövdeli denizaltılar için balast tank yerleşimi.



Şekil 3.2: Delta-3 denizaltısının iki gövde tasarımı



Şekil 3.3: USS Seawolf (SSN-21) tekli gövde tasarımı

Klas kuruluşları, geminin inşaat aşamasında ilgili standartları karşıladığını onaylar ve standartlara uyduğunu belirli aralıklar ile kontrol eder. Uluslararası sınıflandırma kuruluşları, tasarım ve bakım gereksinimlerinden, mürettebatın güvenliğine ve çevrenin korunmasına kadar her şeyin bağımsız bir üçüncü tarafça doğrulanmasını kapsayan sınıflandırma kurallarını yayınlarlar. Yeni inşa aşamasında doğrulama söz konusu olduğunda, tasarım onayı, malzeme ve ekipman sertifikasyonu ve sahada inşaat gözetimini kapsar. Kuralların kapsadığı maddeler arasında yüzey ve su altı stabilitesi, yüzeye çıkma, ağırlık kontrolü, gövde basıncı, dümen cihazları, tahrik sistemleri, güç kaynağı, otomasyon, iletişim ve navigasyon ekipmanı, yangından korunma, atmosferik kontrol ve acil durum ve kurtarma teçhizatları yer alır. Bu klas kuruluşlarından birisi olan Bureau Veritas (BV) için deniz ve dış ortam koşulları Çizelge 3.1’ de listelenmiştir.

Çizelge 3.1: BV standartlarında denizaltılar için ortam koşulları

| | Normal çevre koşulları | Olağanüstü çevre koşulları |
|--------------------------|--|---|
| Dış ortam hava sıcaklığı | -5 ° C ile +40°C | -10°C ile +45°C |
| Dış ortam nem miktarı | %20 ile %80 aralığı | %15 ile %95 aralığı |
| Dış basınç | $P \leq P_N$ | $P \leq P_A$ |
| Deniz suyu sıcaklığı | D <40m: 0°C ile 32°C D ≥40m: 0°C ile 25°C | D <40m: -2°C ile 35°C D ≥40m: 0°C ile 25°C |

3.1 Denizaltıların Yapısal Analizi

Yapısal tasarım, her zaman yapının maruz kalacağı yüklerin belirlenmesi süreciyle başlar. Bir denizaltının görevi sırasında maruz kalabileceği yükler; derinlikten dolayı basınç, şok yükleri, titreşimler, enine ve boyuna yüklerdir. Dalmış bir denizaltının mukavim teknesi, boylamasına basınç stresine maruz kalmaktadır. Boyuna gerilmeler, çevresel gerilmenin yarısı büyüklüğündedir. Mukavim teknesinde boyuna gerilmeler denklem 3.1 de gösterilmiştir.

Mukavim teknesindeki boyuna gerilmeler, mukavim teknesinin sac kalınlığını elde edilmesiyle mukavim teknesinin burkulmasını önlemek için gerekli olan stifner boyutları hesaplanır. Boyuna gerilme, dış basıncın, basınca dayanıklı mukavim teknenin yarıçapının ve mukavim teknesinin sac kalınlığının bir fonksiyonudur.

$$\text{Boyuna gerilme} = \frac{D_{\text{ış basınç}} * \text{Basınç Teknesinin Yarıçapı}}{2 * \text{Basınç Teknesinin Sac Kalınlığı}} \quad (3.1)$$

Ezilme derinliğindeki hidrostatik basınç bu hesaplamada dış basınç olarak kabul edilir. Mukavim teknesinin üzerindeki maksimum boyuna basınç gerilmesi, kullanılan malzemenin akma dayanımı ile belirlenir.

$$\text{Sac Kalınlığı} = \frac{\text{Dış Basınç} * \text{Basınç Teknesinin Yarıçapı}}{2 * \text{Malzemenin Akma Dayanımı}} \quad (3.2)$$

Bir denizaltı için gerekli olan sac kalınlığı, daha yüksek akma dayanımına sahip malzeme kullanılarak azaltılabilir. Bu denklem 3.2' den hesaplanabilir. Daha az kalınlık, ağırlığı azaltmada avantajlı olacaktır. Ancak daha yüksek bir maliyete sahiptir.

Mukavim teknesinin burkulma yüklerinden kaynaklanan çevresel gerilmeleri absorbe edebilen posta takviyeleri yapılır. Postalar, mukavim teknesinin kabuğuna içeriden kaynaklanır ve sistem bir bütün olur.

3.2 Sonlu Elemanlar

Sonlu elemanlar yöntemi, çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözüm yöntemidir. Ele alınan mühendislik probleminin çözüm bölgesi alt bölgelere ayrıştırılır ve her alt bölgede aranan fonksiyonun ifadesi polinom olacak şekilde seçilir. Belirli işlemler dahilinde her alt bölgede polinom olarak kabul edilen çözümün katsayıları belirlenmeye çalışılır. Mühendisler, daha iyi ürünler geliştirmek için fiziksel prototip ve deneylerin sayısını azaltmak ve bileşenleri tasarım aşamasında optimize etmek için bu yöntemi kullanırlar.

Simülasyon yapabilmek için, bir araya geldiğinde yapının şeklini oluşturması gereken milyonlarca küçük elementten oluşan bir ağ gerekir. Her bir eleman için hesaplamalar yapılır. Bireysel sonuçları birleştirmek bize yapının nihai sonucunu verir. Elemanlar üzerinden yapılan enterpolasyonlardır. Bu, elemanın içindeki belirli noktalardaki değerleri bildiğimiz, ancak her noktayı bilemediğimiz anlamına gelir. Bu belirli noktalar düğüm (nodal) noktaları olarak adlandırılır ve genellikle elemanın sınırında bulunur. Değişken ile değişen doğruluk değeri; doğrusal, kuadratik, kübik vb. olabilecek yaklaşım ile ifade edilir. Doğruluğu etkileyen hesaplamalı mekaniğin önemli konularından birisi ağ yakınsamadır. Bir analiz sonucunun, ağ boyutunun büyüklüğünü değiştirerek etkilenmemesini sağlamak için elemanların ne kadar küçük olması gerektiğiyle ilgilidir.

4. ANALİZ

Bu çalışmada Ansys Workbench programı kullanılarak, sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. İstanbul Gedik Üniversitesinin, Ansys Akademik 2019 R3 lisanslı versiyonu kullanılmıştır. Ansys Workbench arayüzünden, static structural modülü kullanılarak analizler yapıldı.

4.1 Katı Model Tasarımı

Analizde kullanılacak modellerin tasarımı, spaceclaim programında çizildi. Bu analizde değişkenleri değiştirerek basınç teknesinin hangi derinlikte ezileceğini hesaplanmıştır. Değişkenler; sac kalınlığı, posta aralığı, çap ve kullanılan malzemedir. 5 farklı malzeme, 4 farklı posta aralığı, 3 farklı çap ve 6 farklı sac kalınlığı seçilmiştir.

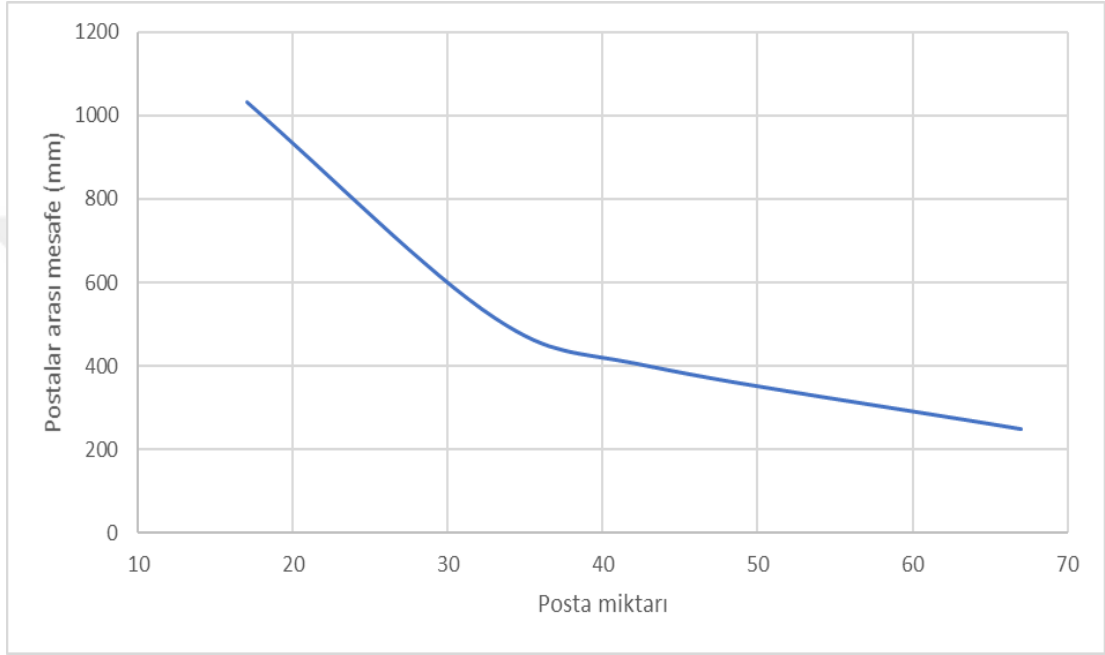
Çizelge 4.1: Malzemelerin özellikleri

| Malzeme | Yoğunluk (kg/m ³) | Young modülü (GPa) | Poisson oranı (MPa) | Bulk modülü (GPa) | Kesme modülü (GPa) | Maksimum çekme mukavemeti (MPa) |
|---------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|--|
| Hy-80 | 7746 | 207 | 0,3 | 172,5 | 79,615 | 550 |
| Hy-100 | 7748 | 207 | 0,3 | 172,5 | 79,615 | 690 |
| Ah-36 | 7900 | 205 | 0,29 | 158,73 | 77,519 | 350 |
| Grade A | 7850 | 205 | 0,3 | 166,67 | 76,923 | 250 |
| Ti-6211 | 4480 | 115 | 0,31 | 100,88 | 43,893 | 800 |

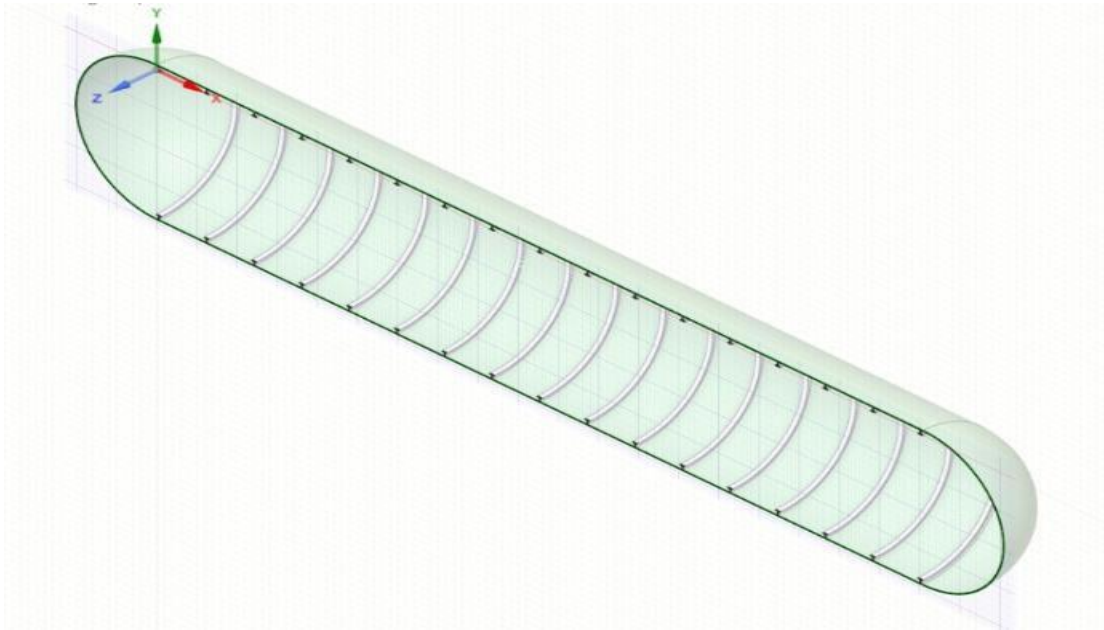
Çizelge 4.2: Postalar arası mesafe ve miktarı

| | | | | |
|--------------------|---------|--------|-----|-----|
| Posta adedi | 17 | 33 | 67 | 43 |
| Posta aralığı (mm) | 1031,25 | 515,63 | 250 | 400 |

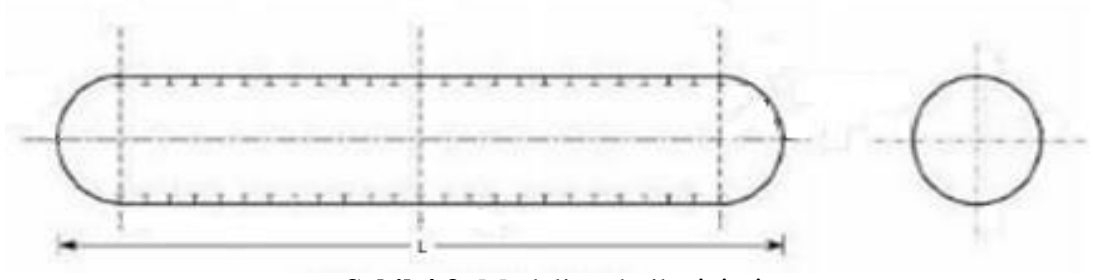
Çizelge 4.1’ de analiz için kullanılacak malzemelerin özellikleri verilmiştir. Basınç teknesinin, postalar arası mesafe ve posta miktarı Çizelge 4.2’ de verilmiştir. Postalar arası mesafenin, posta miktarına oranı Şekil 4.1’ de gösterilmiştir. Basınç teknesinin uzunluğu 20 metredir. Şekil 4.2’ de basınç teknesinin kesit görünüşü gösterilmiştir. Basınç teknesinin teknik çizimi Şekil 4.3’ de ve postaların teknik çizimi Şekil 4.4’ de gösterilmiştir.



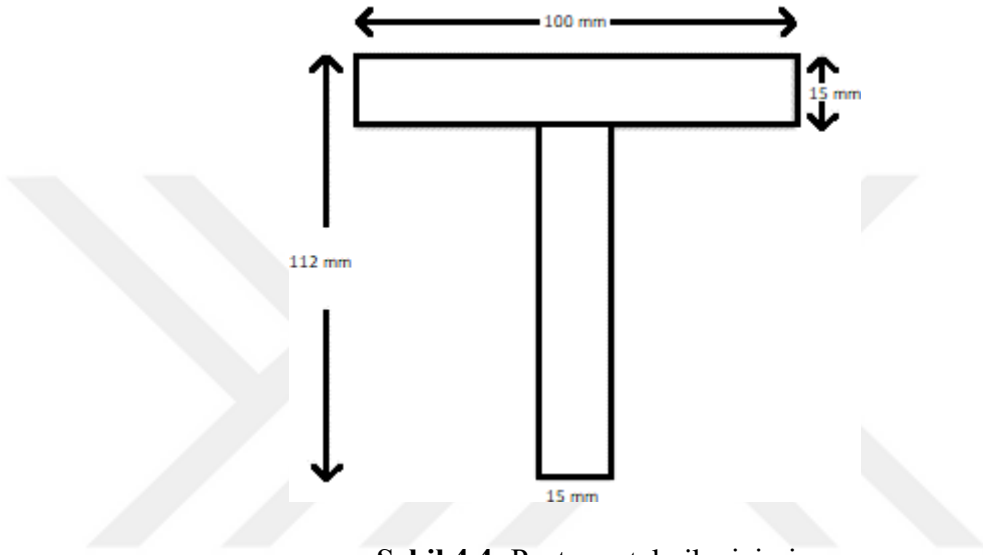
Şekil 4.1: Postalar arası mesafe ve miktarı



Şekil 4.2: Modelin kesit görünüşü



Şekil 4.3: Modelin teknik çizimi



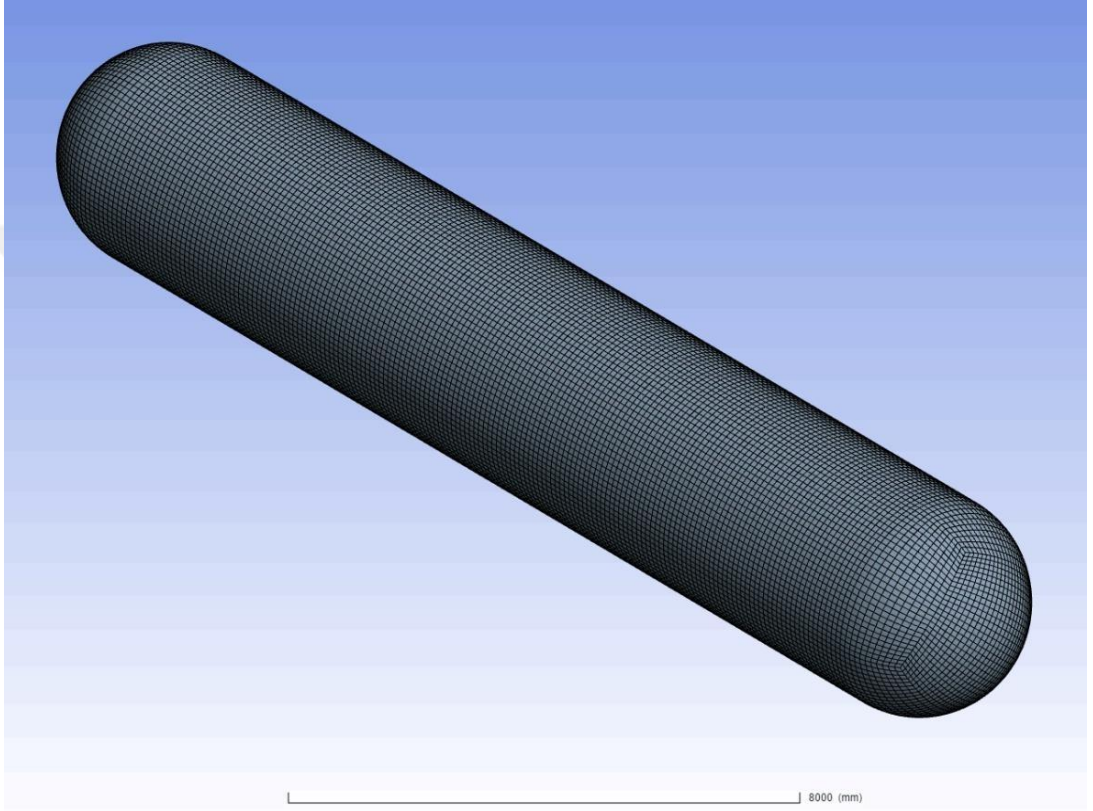
Şekil 4.4: Postanın teknik çizimi

4.2 Ağ Yapısı Ayarları

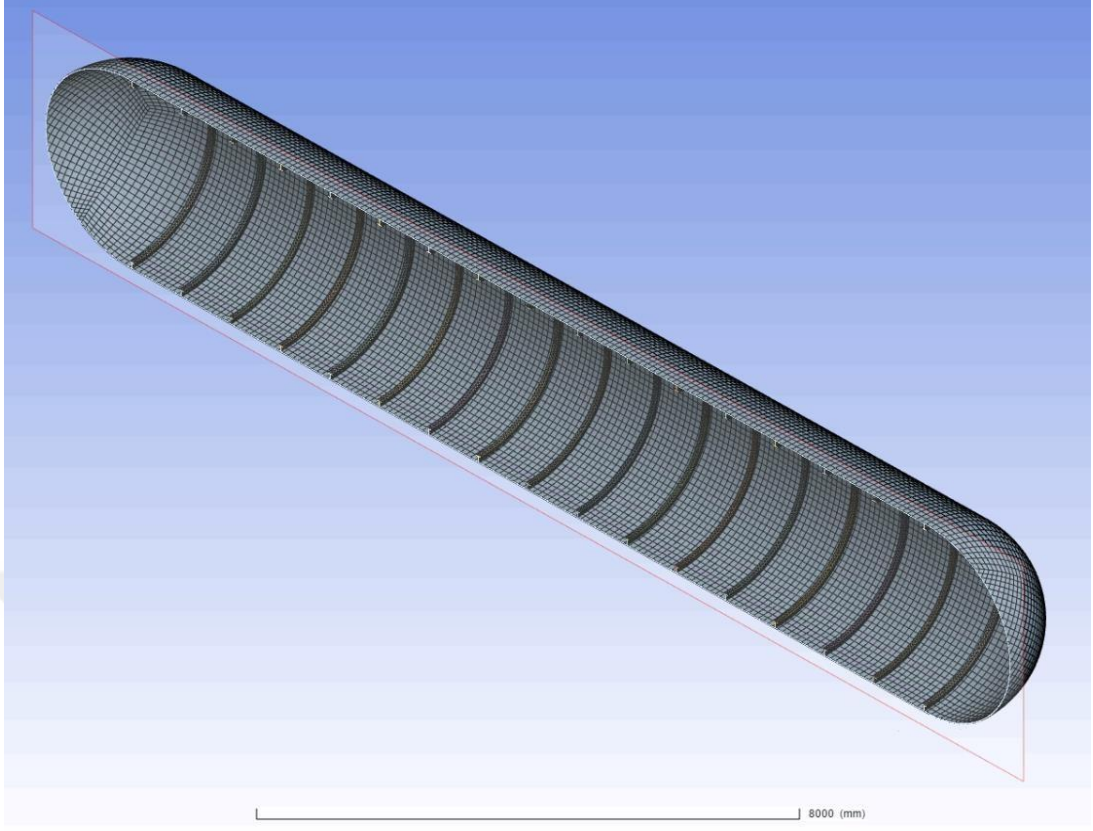
Spaceclaim programından elde edilen katı model, Ansys static structural modülüne aktarılmıştır. Ağ yapısı ayarlanırken, analizin yapılacağı bilgisayarın özellikleri düşünülerek uygun değerlerde ayarlanmıştır. Tüm modellerde aynı ağ yapısı ayarları mukavim teknesinin eleman boyutu 100 mm, posta eleman boyutu 50 mm ve ağ yapısı yöntemi olarak altıgen (hexa) ağ yapısı kullanılmıştır. Çizelge 4.3’ de mukavim teknesinin ve postaların ağ yapısı bilgileri verilmiştir. Mukavim teknesinin ağ yapısı Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.3: Ağ yapısı istatistikleri

| | |
|------------------------------|--------|
| Mukavim teknesi düğüm adedi | 536657 |
| Mukavim teknesi eleman adedi | 318636 |
| Posta düğüm adedi | 20615 |
| Posta element adedi | 9719 |



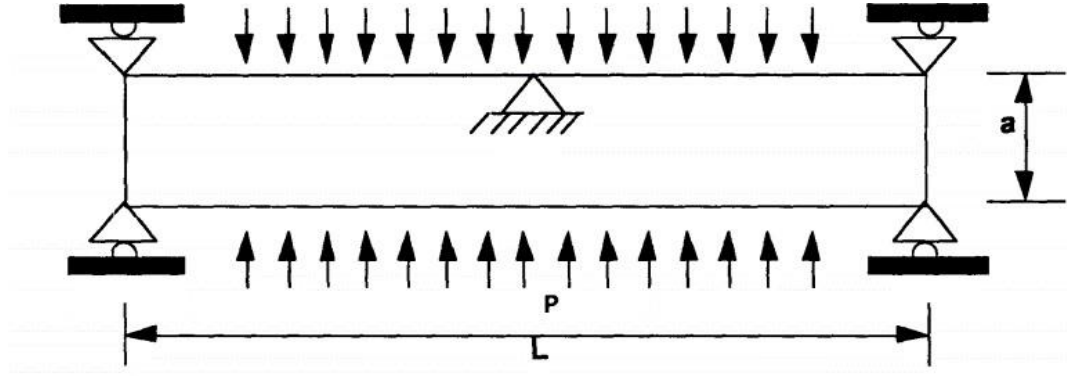
Şekil 4.5: Mukavim teknesinin ağ yapısı



Şekil 4.6: Mukavim teknesinin ağ yapısı kesit görüşü

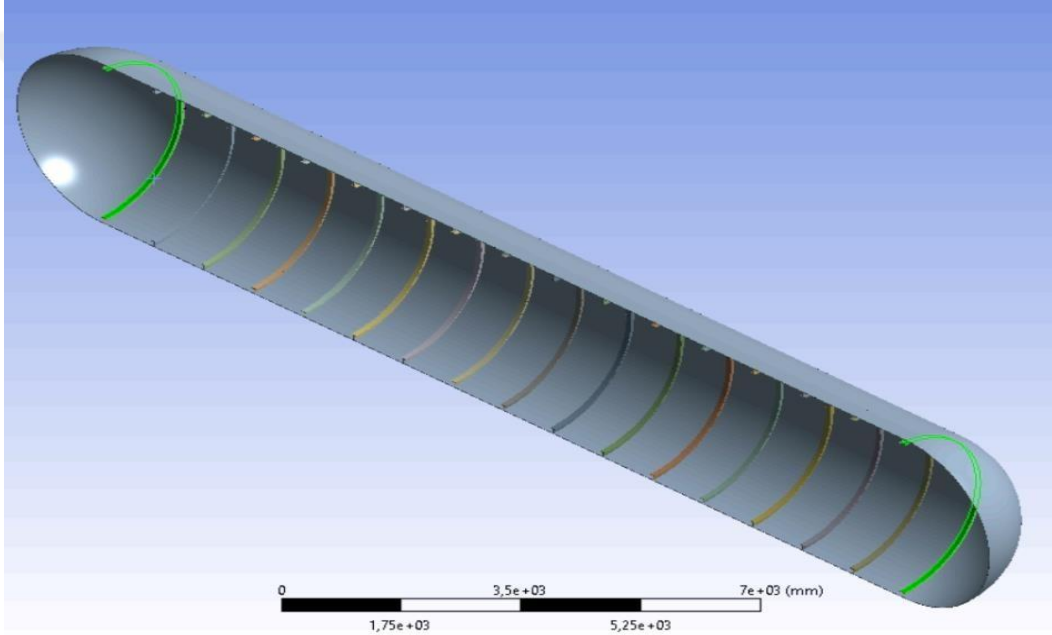
4.3 Sınır Koşullarının Belirlenmesi ve Parametre Atanması

Bu çalışmada kullanılan modellerin hepsi aynı yöntem ile mesnetlenmiştir. Analizin yapılacağı derinlikler; 100 metre, 150 metre, 225 metre, 300 metre ve 400 metre seçilmiştir. Bu derinlikler basınç parametresi olarak ayarlanmıştır. Mesnetler; 2 yüzeyden kayıcı mesnet ve ortadan sabit mesnet ile ayarlanmıştır. Analizde kullanılan mesnetleme yöntemi, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’ de gösterilmiştir. Bu mesnetleme yöntemi, Andre Delano Smith tarafından 1994 yılında yayınlanmış olan “The Effects Of Radial Support Characteristics On Submarine Hull Instability Pressures” çalışmasında kullanılmıştır.



Şekil 4.7: Uçlardan dairesel kayıcı ve ortadan sabit mesnetleme

Kaynak: The Effects Of Radial Support Characteristics On Submarine Hull Instability Pressures
(1994 yılında Andre Delano Smith)



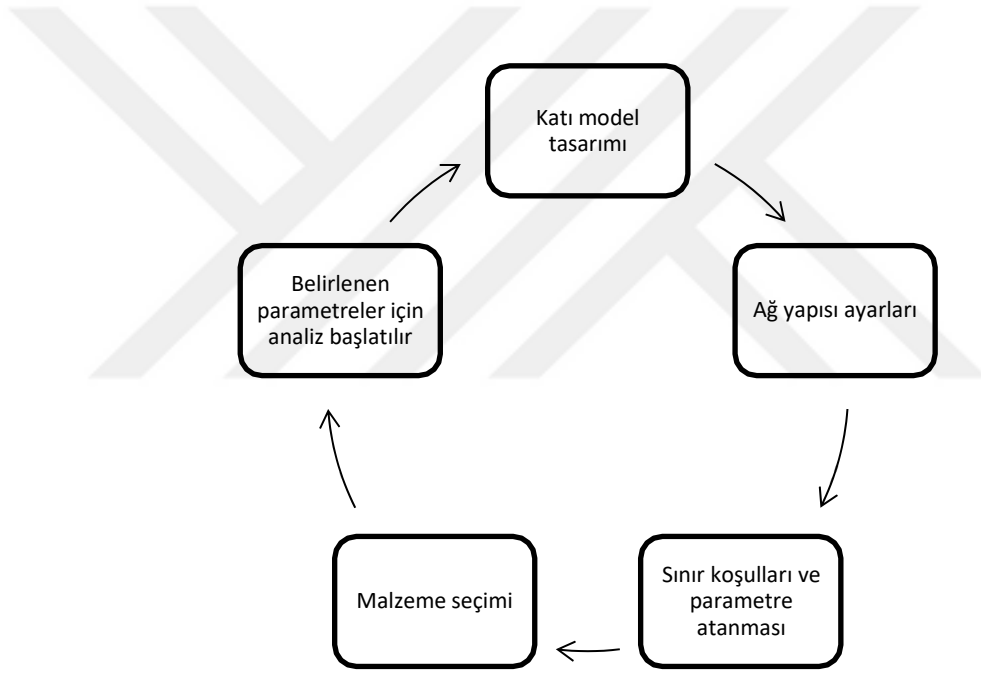
Şekil 4.8: Kayıcı mesnet (yeşil ile işaretlenen yüzeyler)

4.4 Malzeme

Bu çalışmada 5 farklı malzeme seçilmiştir. Bu malzemeler; Hy-80, Hy-100, Ah-36, Grade A çelik ve Ti-6211. Analizde kullanılan malzemeler, günümüzdeki denizaltılarda kullanılan malzemeler ve temel malzemeler seçilmiştir. Bu analiz için kullanılacak malzemelerin özellikleri Çizelge 4.1' de verilmiştir.

5. ANALİZ SONUÇLARI

Bu çalışmada mukavim teknesinin yapısal tasarımı için; malzeme, sac kalınlığı, çap ve posta aralığı değiştirilerek Ansys static structural yazılımı ile analiz yapılmıştır. Denizaltının mukavim teknesinin dayanımı sonuçları bu bölümde Çizelgeler ve grafiklerle gösterilmiştir. Şekil 5.1’ de bu çalışmada izlenen işlem döngüsü gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Analiz için işlem döngüsü

Model isimleri belirlenirken kullanılan kodlama yöntemi; Model_(posta miktarı).(malzeme türü).(sac kalınlığı) yöntemi kullanıldı. Analizde kullanılan model isimleri ve özellikleri Çizelge 5.1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1: Analizde kullanılan mukavim teknesi modelleri

| Model | M_p | Malzeme | t (mm) | D (mm) |
|--------------|----------------------|----------------|---------------|---------------|
| Model_A.1.0 | 17 | Hy-80 | 10 | 3500 |
| Model_A.1.1 | 17 | Hy-80 | 12 | 3500 |
| Model_A.1.2 | 17 | Hy-80 | 14 | 3500 |
| Model_A.1.3 | 17 | Hy-80 | 16 | 3500 |
| Model_A.1.4 | 17 | Hy-80 | 18 | 3500 |
| Model_A.1.5 | 17 | Hy-80 | 20 | 3500 |
| Model_A.2.0 | 17 | Hy-100 | 10 | 3500 |
| Model_A.2.1 | 17 | Hy-100 | 12 | 3500 |
| Model_A.2.2 | 17 | Hy-100 | 14 | 3500 |
| Model_A.2.3 | 17 | Hy-100 | 16 | 3500 |
| Model_A.2.4 | 17 | Hy-100 | 18 | 3500 |
| Model_A.2.5 | 17 | Hy-100 | 20 | 3500 |
| Model_A.3.0 | 17 | Ah-36 | 10 | 3500 |
| Model_A.3.1 | 17 | Ah-36 | 12 | 3500 |
| Model_A.3.2 | 17 | Ah-36 | 14 | 3500 |
| Model_A.3.3 | 17 | Ah-36 | 16 | 3500 |
| Model_A.3.4 | 17 | Ah-36 | 18 | 3500 |
| Model_A.3.5 | 17 | Ah-36 | 20 | 3500 |
| Model_A.4.0 | 17 | Ti-6211 | 10 | 3500 |
| Model_A.4.1 | 17 | Ti-6211 | 12 | 3500 |
| Model_A.4.2 | 17 | Ti-6211 | 14 | 3500 |
| Model_A.4.3 | 17 | Ti-6211 | 16 | 3500 |
| Model_A.4.4 | 17 | Ti-6211 | 18 | 3500 |
| Model_A.4.5 | 17 | Ti-6211 | 20 | 3500 |
| Model_A.5.0 | 17 | Grade A Çelik | 10 | 3500 |
| Model_A.5.1 | 17 | Grade A Çelik | 12 | 3500 |
| Model_A.5.2 | 17 | Grade A Çelik | 14 | 3500 |
| Model_A.5.3 | 17 | Grade A Çelik | 16 | 3500 |
| Model_A.5.4 | 17 | Grade A Çelik | 18 | 3500 |
| Model_A.5.5 | 17 | Grade A Çelik | 20 | 3500 |
| Model_B.1.0 | 33 | Hy-80 | 10 | 3500 |
| Model_B.1.1 | 33 | Hy-80 | 12 | 3500 |
| Model_B.1.2 | 33 | Hy-80 | 14 | 3500 |
| Model_B.1.3 | 33 | Hy-80 | 16 | 3500 |
| Model_B.1.4 | 33 | Hy-80 | 18 | 3500 |
| Model_B.1.5 | 33 | Hy-80 | 20 | 3500 |
| Model_B.2.0 | 33 | Hy-100 | 10 | 3500 |
| Model_B.2.1 | 33 | Hy-100 | 12 | 3500 |
| Model_B.2.2 | 33 | Hy-100 | 14 | 3500 |
| Model_B.2.3 | 33 | Hy-100 | 16 | 3500 |
| Model_B.2.4 | 33 | Hy-100 | 18 | 3500 |
| Model_B.2.5 | 33 | Hy-100 | 20 | 3500 |
| Model_B.3.0 | 33 | Ah-36 | 10 | 3500 |
| Model_B.3.2 | 33 | Ah-36 | 14 | 3500 |
| Model_B.3.3 | 33 | Ah-36 | 16 | 3500 |
| Model_B.3.4 | 33 | Ah-36 | 18 | 3500 |
| Model_B.4.0 | 33 | Ti-6211 | 10 | 3500 |

Çizelge 5.1: Devamı

| Model | M_p | Malzeme | t (mm) | D (mm) |
|--------------|----------------------|----------------|---------------|---------------|
| Model_B.4.1 | 33 | Ti-6211 | 12 | 3500 |
| Model_B.4.2 | 33 | Ti-6211 | 14 | 3500 |
| Model_B.4.3 | 33 | Ti-6211 | 16 | 3500 |
| Model_B.4.4 | 33 | Ti-6211 | 18 | 3500 |
| Model_B.4.5 | 33 | Ti-6211 | 20 | 3500 |
| Model_B.5.0 | 33 | Grade A Çelik | 10 | 3500 |
| Model_B.5.1 | 33 | Grade A Çelik | 12 | 3500 |
| Model_B.5.2 | 33 | Grade A Çelik | 14 | 3500 |
| Model_B.5.3 | 33 | Grade A Çelik | 16 | 3500 |
| Model_B.5.4 | 33 | Grade A Çelik | 18 | 3500 |
| Model_B.5.5 | 33 | Grade A Çelik | 20 | 3500 |
| Model_C.1.0 | 67 | Hy-80 | 10 | 3500 |
| Model_C.1.1 | 67 | Hy-80 | 12 | 3500 |
| Model_C.1.2 | 67 | Hy-80 | 14 | 3500 |
| Model_C.1.3 | 67 | Hy-80 | 16 | 3500 |
| Model_C.1.4 | 67 | Hy-80 | 18 | 3500 |
| Model_C.1.5 | 67 | Hy-80 | 20 | 3500 |
| Model_C.2.0 | 67 | Hy-100 | 10 | 3500 |
| Model_C.2.1 | 67 | Hy-100 | 12 | 3500 |
| Model_C.2.2 | 67 | Hy-100 | 14 | 3500 |
| Model_C.2.3 | 67 | Hy-100 | 16 | 3500 |
| Model_C.2.4 | 67 | Hy-100 | 18 | 3500 |
| Model_C.2.5 | 67 | Hy-100 | 20 | 3500 |
| Model_C.3.0 | 67 | Ah-36 | 10 | 3500 |
| Model_C.3.1 | 67 | Ah-36 | 12 | 3500 |
| Model_C.3.2 | 67 | Ah-36 | 14 | 3500 |
| Model_C.3.3 | 67 | Ah-36 | 16 | 3500 |
| Model_C.3.4 | 67 | Ah-36 | 18 | 3500 |
| Model_C.3.5 | 67 | Ah-36 | 20 | 3500 |
| Model_C.4.0 | 67 | Ti-6211 | 10 | 3500 |
| Model_C.4.1 | 67 | Ti-6211 | 12 | 3500 |
| Model_C.4.2 | 67 | Ti-6211 | 14 | 3500 |
| Model_C.4.3 | 67 | Ti-6211 | 16 | 3500 |
| Model_C.4.4 | 67 | Ti-6211 | 18 | 3500 |
| Model_C.4.5 | 67 | Ti-6211 | 20 | 3500 |
| Model_C.5.0 | 67 | Grade A Çelik | 10 | 3500 |
| Model_C.5.1 | 67 | Grade A Çelik | 12 | 3500 |
| Model_C.5.2 | 67 | Grade A Çelik | 14 | 3500 |
| Model_C.5.3 | 67 | Grade A Çelik | 16 | 3500 |
| Model_C.5.4 | 67 | Grade A Çelik | 18 | 3500 |
| Model_C.5.5 | 67 | Grade A Çelik | 20 | 3500 |
| Model_D.1.1 | 43 | Ah-36 | 20 | 3500 |
| Model_D.1.2 | 43 | Ah-36 | 20 | 3800 |
| Model_D.1.3 | 43 | Ah-36 | 20 | 4100 |
| Model_D.2.1 | 43 | Hy-80 | 20 | 3500 |
| Model_D.2.2 | 43 | Hy-80 | 20 | 3800 |
| Model_D.2.3 | 43 | Hy-80 | 20 | 4100 |

5.1 Malzemelere Göre Analiz Sonuçlar

Bu bölümde malzeme seçiminin, mukavim teknesine de oluşturduğu gerilmeler incelenmiştir.

5.1.1 Hy-80 ve Hy-100

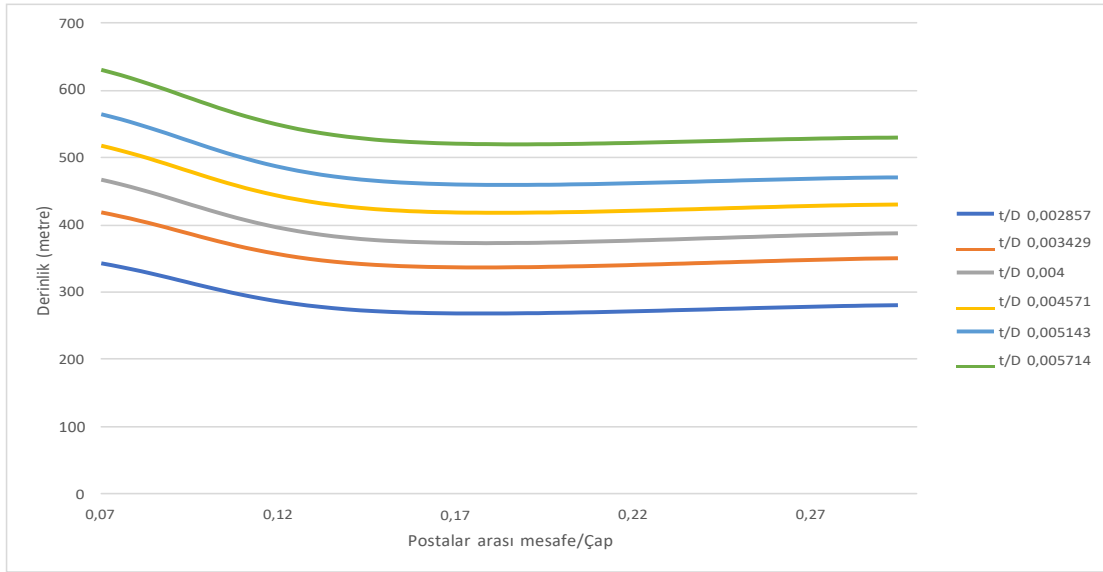
Hy-80 ve Hy-100 malzemeleriyle yapılan analizlerin sonuçları bu bölümde grafikler ve görseller ile gösterilmiştir. Kullanılan mukavim teknelerinin yapısal ağırlıkları Çizelge 5.2' de belirtilmiştir.

Şekil 5.2' de Hy-80 malzemesi ve Şekil 5.3' de Hy-100 malzemesi için mukavim teknelerinin çapı sabittir. Mukavim teknesinin sac kalınlığı ve postalar arası mesafe değiştirilerek, mukavim teknesinin ezilme derinliğini grafiği çizilmiştir. Grafikte, postlar arası mesafe azaldığında ya da sac kalınlığı arttığında ezilme derinliği artmıştır. Ezilme derinliğinin artması beklenen bir sonuçtur. Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 için hesaplanan analiz sonuçları ile Çizelge 5.2' deki yapısal ağırlık değerleri karşılaştırılarak, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5 grafikleri elde edilmiştir.

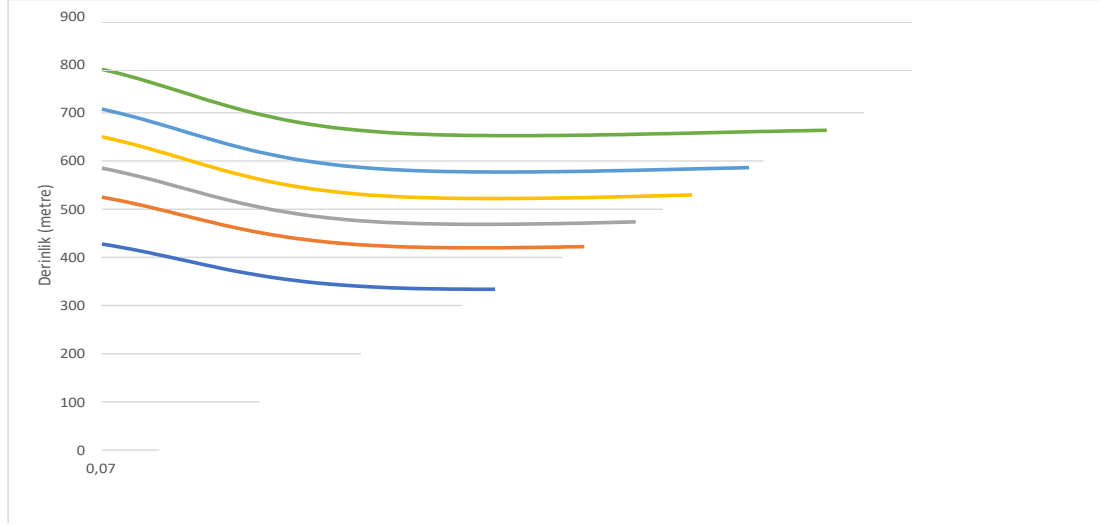
Şekil 5.4' de Hy-80 malzemesi ve Şekil 5.5' de Hy-100 malzemesi için mukavim teknesinin çapı sabit olup hesaplanan analizlerde, mukavim teknesinin yapısal ağırlığına göre ezilme derinliği gösterilmiştir. Bu grafiklerde değişkenler postalar arası mesafe ve sac kalınlığıdır. Yapısal ağırlık arttıkça, mukavim teknenin ezileme derinliği artmıştır. Bu ezileme derinliğinin artışı beklenen bir sonuçtur.

Çizelge 5.2: Modellerin yapısal ağırlıkları

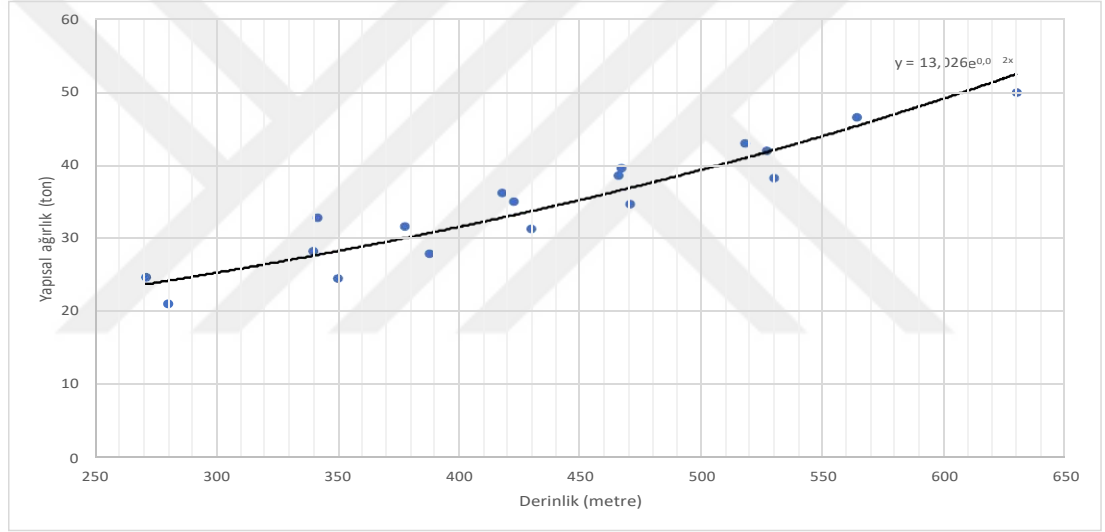
| Sac kalınlığı (mm) | 17 posta için yapısal ağırlığı (ton) | 33 posta için yapısal ağırlığı (ton) | 67 posta için yapısal ağırlığı (ton) |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 10 (Hy-80) | 21,04562 | 24,7948 | 32,76181 |
| 12 (Hy-80) | 24,47182 | 28,221 | 36,18801 |
| 14 (Hy-80) | 27,90262 | 31,6518 | 39,6188 |
| 16 (Hy-80) | 31,33801 | 35,08719 | 43,0542 |
| 18 (Hy-80) | 34,778 | 38,52718 | 46,49419 |
| 20 (Hy-80) | 38,2226 | 41,97178 | 49,93878 |
| 10 (Hy-100) | 21,05105 | 24,8012 | 32,77026 |
| 12 (Hy-100) | 24,47814 | 28,22829 | 36,19735 |
| 14 (Hy-100) | 27,90982 | 31,65997 | 39,62903 |
| 16 (Hy-100) | 31,3461 | 35,09625 | 43,06531 |
| 18 (Hy-100) | 34,78698 | 38,53713 | 46,50619 |
| 20 (Hy-100) | 38,23247 | 41,98261 | 49,95168 |



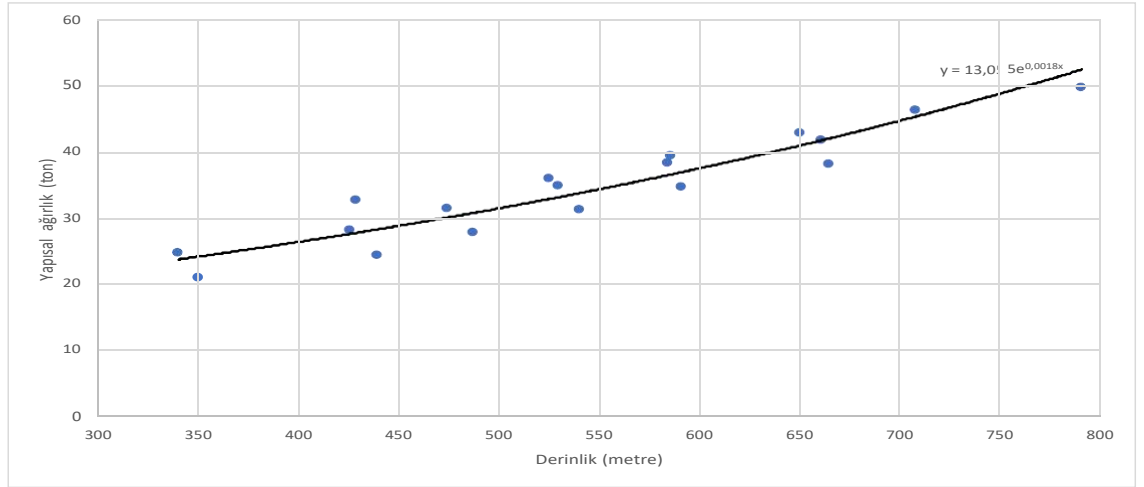
Şekil 5.2: Hy-80 malzemesi için derinlik ile L_p/D grafiği



Şekil 5.3: Hy-100 malzemesi için derinlik ile L_p/D grafiği

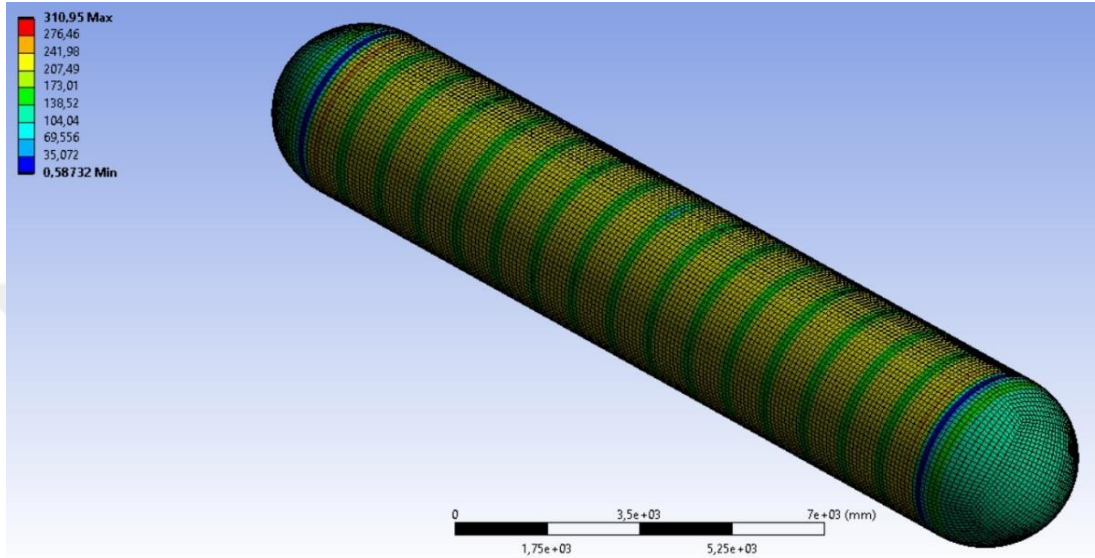


Şekil 5.4: Hy-80 için yapısal ağırlık/derinlik oranı

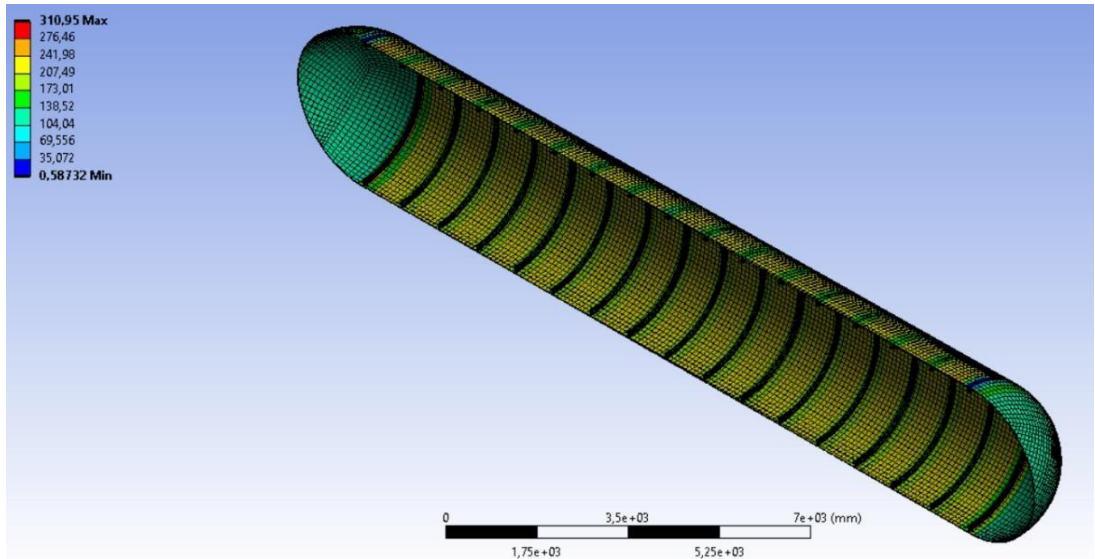


Şekil 5.5: Hy-100 için yapısal ağırlık/derinlik oranı

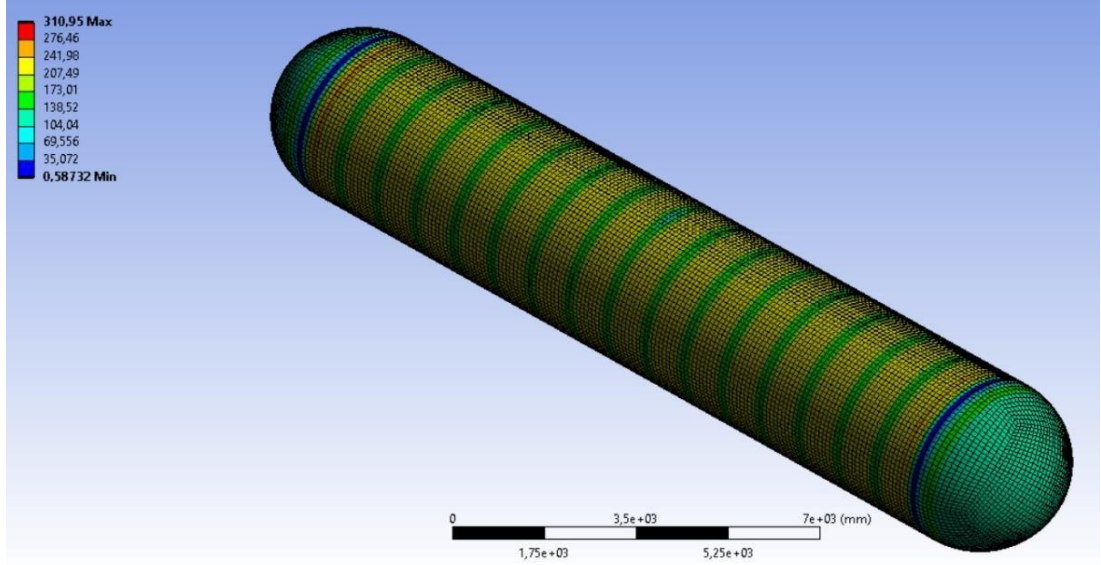
Model_A.1.5 için 300 metre derinliğinde yapılan analiz sonucu oluşan von-Mises gerilmeleri Şekil 5.6 ve Şekil 5.7' de gösterilmiştir. Bu modelin özellikleri; mukavim teknesinin saç kalınlığı 20mm, pota miktarı 17, mukavim teknesinin çapı 3500mm ve mukavim teknesinin malzemesi Hy-80dir. Malzemeyi Hy-100 olarak değiştirildiğinde ise, oluşan von-Mises gerilmeleri Şekil 5.8 ve Şekil 5.9' de gösterilmiştir.



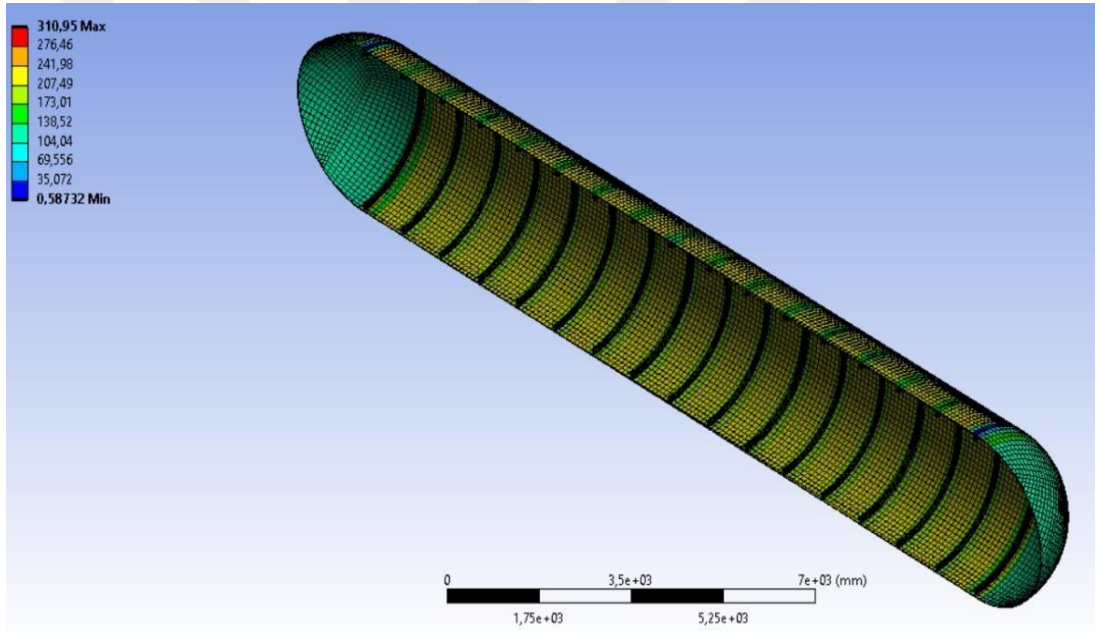
Şekil 5.6: 300 metre derinlikte Model_A.1.5 için von-Mises gerilmeleri



Şekil 5.7: 300 metre derinlikte Model_A.1.5 için von-Mises gerilmeleri



Şekil 5.8: 300 metre derinlikte Model_A.2.5 için von-Mises gerilmeleri



Şekil 5.9: 300 metre derinlikte Model_A.2.5 için von-Mises gerilmeleri

5.1.2 Ah-36

Ah-36 malzemesiyle yapılan analizlerin sonuçları bu bölümde grafikler ve görseller ile gösterilmiştir. Kullanılan mukavim teknelerin yapısal ağırlıkları Çizelge 5.3' de belirtilmiştir.

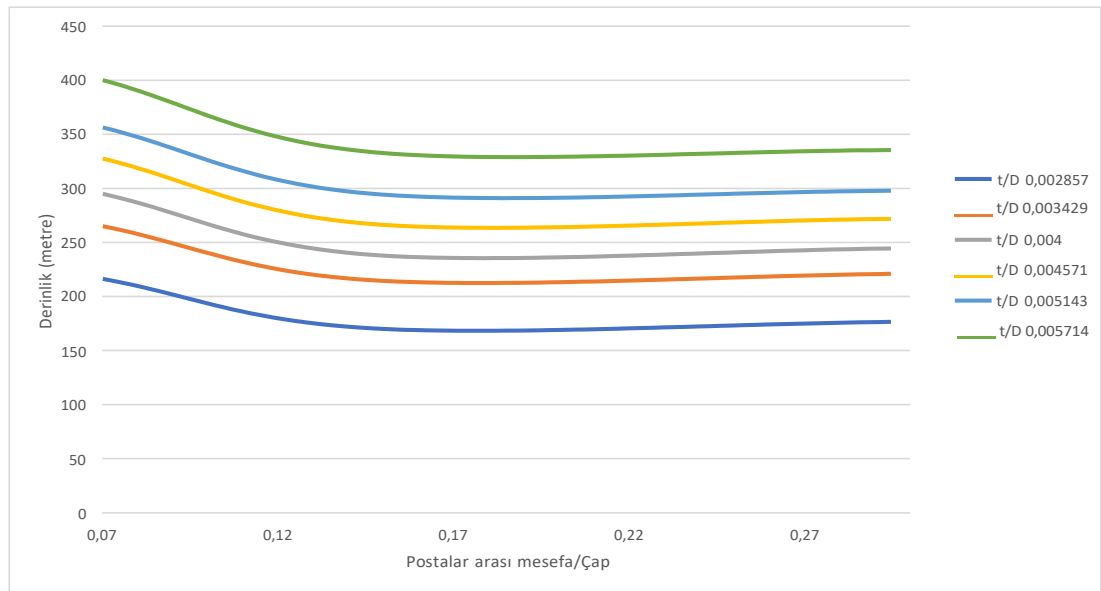
Şekil 5.10' da hesaplanan analizlerde mukavim teknesinin çapı sabittir. Mukavim teknesinin sac kalınlığı ve postalar arası mesafe değiştirilerek, mukavim teknesinin ezilme derinliğini grafiği çizilmiştir. Postlar arası mesafe azaldığında ya da sac

kalınlığı arttığında ezilme derinliği artmıştır. Ezilme derinliğinin artması beklenen bir sonuçtur. şekil 5.10 için hesaplanan analiz sonuçları ile izelge 5.3’ deki yapısal ağırlık değerleri karşılaştırılarak şekil 5.11 grafiği elde edilmiştir.

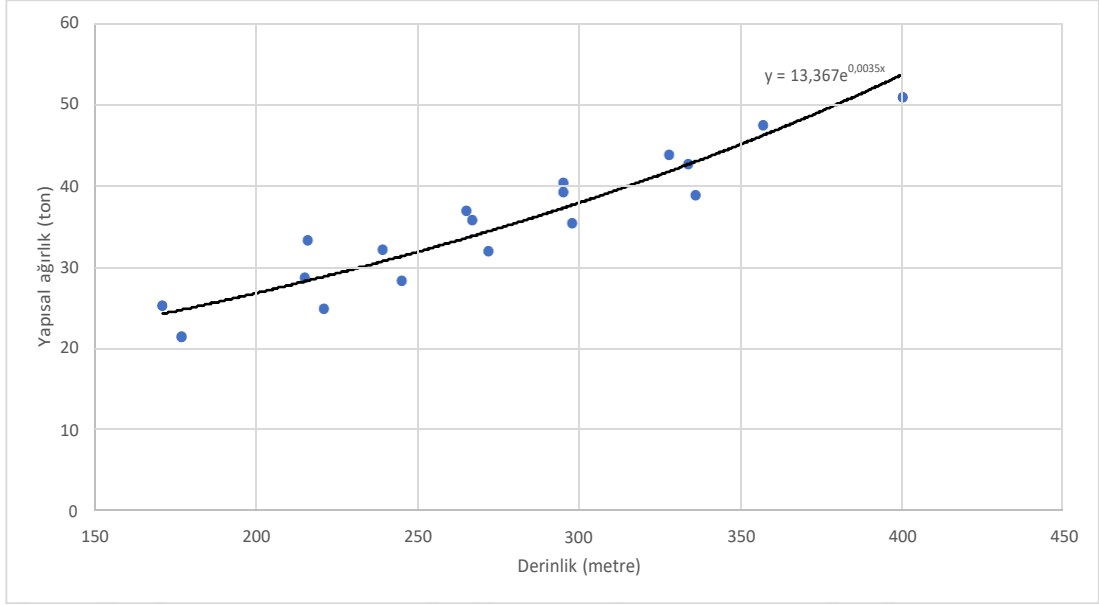
şekil 5.11’ de mukavim teknesinin çapı sabit olup hesaplanan analizlerde, mukavim teknesinin yapısal ağırlığına göre ezilme derinliği grafiği çizilmiştir. Bu grafikte değerkenler, postalar arası mesafe ve sac kalınlığıdır. Yapısal ağırlık arttıa, mukavim teknenin ezileme derinliği artmıştır. Bu ezileme derinliğinin artışı beklenen bir sonuçtur.

Çizelge 5.3: Ah-36 için modellerin yapısal ağırlıkları

| Sac kalınlığı (mm) | 17 posta için yapısal ağırlığı (ton) | 33 posta için yapısal ağırlığı (ton) | 67 posta için yapısal ağırlığı (ton) |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 10 (Ah-36) | 21,46403 | 25,28775 | 33,41315 |
| 12 (Ah-36) | 24,95835 | 28,78207 | 36,90747 |
| 14 (Ah-36) | 28,45736 | 32,28107 | 40,40647 |
| 16 (Ah-36) | 31,96105 | 35,78477 | 43,91017 |
| 18 (Ah-36) | 35,46943 | 39,29315 | 47,41855 |
| 20 (Ah-36) | 38,98251 | 42,80623 | 50,93163 |

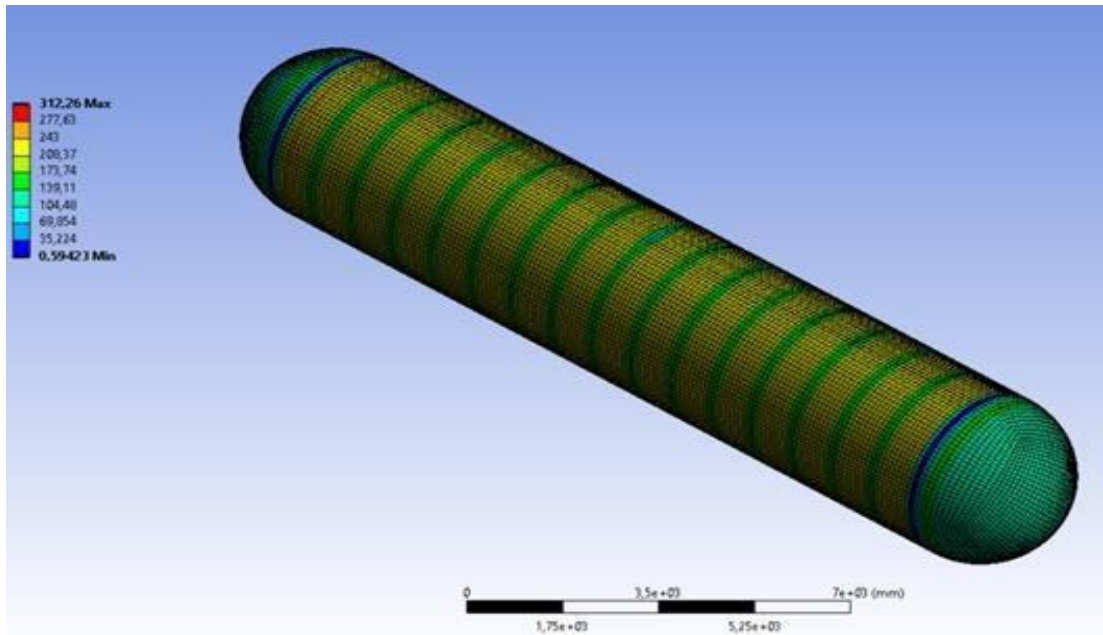


şekil 5.10: Ah36 malzemesi için derinlik ile L_p/D grafiği

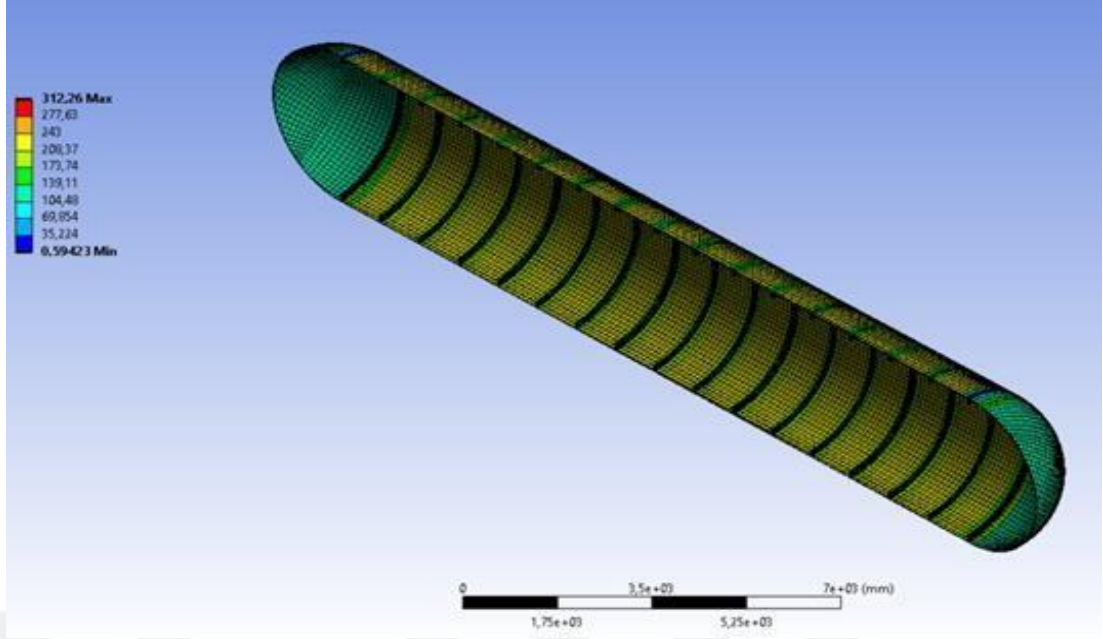


Şekil 5.11: Ah-36 için yapısal ağırlık/derinlik oranı

Model_A.3.5 için 300 metre derinliğinde yapılan analiz sonucu oluşan von-Mises gerilmeleri Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’ de gösterilmiştir. Bu modelin özellikleri; mukavim teknesinin saç kalınlığı 20mm, pota miktarı 17, mukavim teknesinin çapı 3500mm ve mukavim teknesinin malzemesi Ah-36dır.



Şekil 5.12: 300 metre derinlikte Model_A.3.5 için von-Mises gerilmeleri



Şekil 5.13: 300 metre derinlikte Model_A.3.5 için von-Mises gerilmeleri

5.1.3 Ti 6211 Alaşımı

Ti-6211 malzemesiyle yapılan analizlerin sonuçları bu bölümde grafikler ve görseller ile gösterilmiştir. Kullanılan mukavim teknelerin yapısal ağırlıkları Çizelge 5.4' de belirtilmiştir.

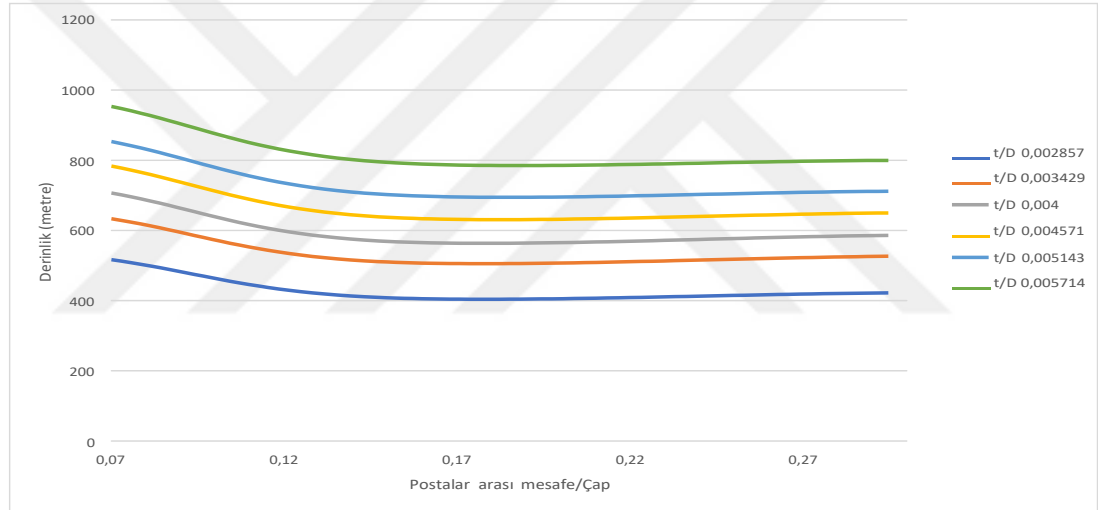
Şekil 5.14' da hesaplanan analizlerde mukavim teknesinin çapı sabittir. Mukavim teknesinin sac kalınlığı ve postalar arası mesafe değiştirilerek, mukavim teknesinin ezilme derinliğini grafiği çizilmiştir. Postlar arası mesafe azaldığında ya da sac kalınlığı arttığında ezilme derinliği artmıştır. Ezilme derinliğinin artması beklenen bir sonuçtur. Şekil 5.14 için hesaplanan analiz sonuçları ile Çizelge 5.4' deki yapısal ağırlık değerleri karşılaştırılarak Şekil 5.15 grafiği elde edilmiştir.

Şekil 5.15' de mukavim teknesinin çapı sabit olup hesaplanan analizlerde, mukavim teknesinin yapısal ağırlığına göre ezilme derinliği grafiği çizilmiştir. Bu grafikte değişkenler, postalar arası mesafe ve sac kalınlığıdır. Yapısal ağırlık arttıkça, mukavim teknenin ezileme derinliği artmıştır. Bu ezileme derinliğinin artışı beklenen bir sonuçtur.

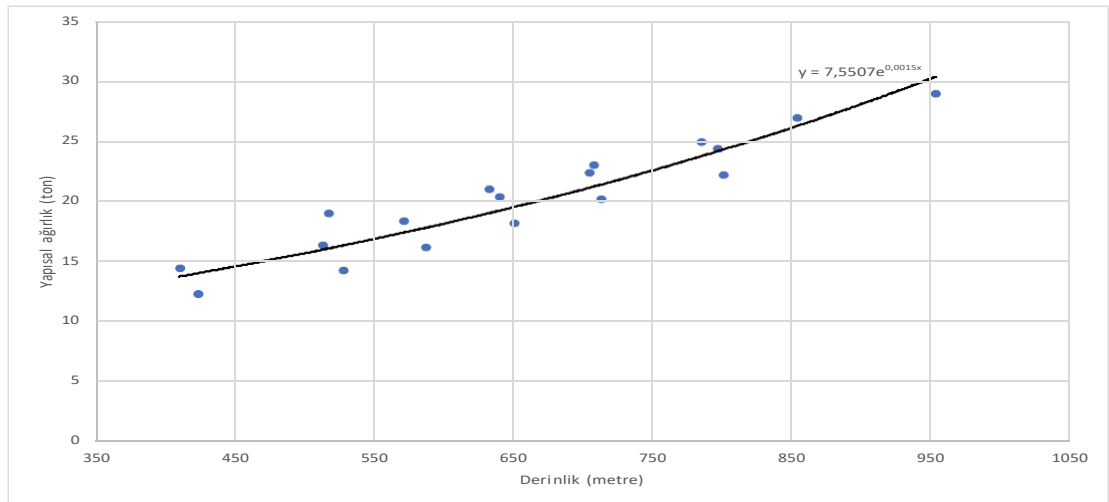
Model_A.4.5 için 300 metre derinliğinde yapılan analiz sonucu oluşan von-Mises gerilmeleri Şekil 5.16' da gösterilmiştir. Bu modelin özellikleri; mukavim teknesinin sac kalınlığı 20mm, pota miktarı 17, mukavim teknesinin çapı 3500mm ve mukavim teknesinin malzemesi Ti-6211 alaşımıdır.

Çizelge 5.4: Ti-6211 alaşımı için modellerin yapısal ağırlıkları

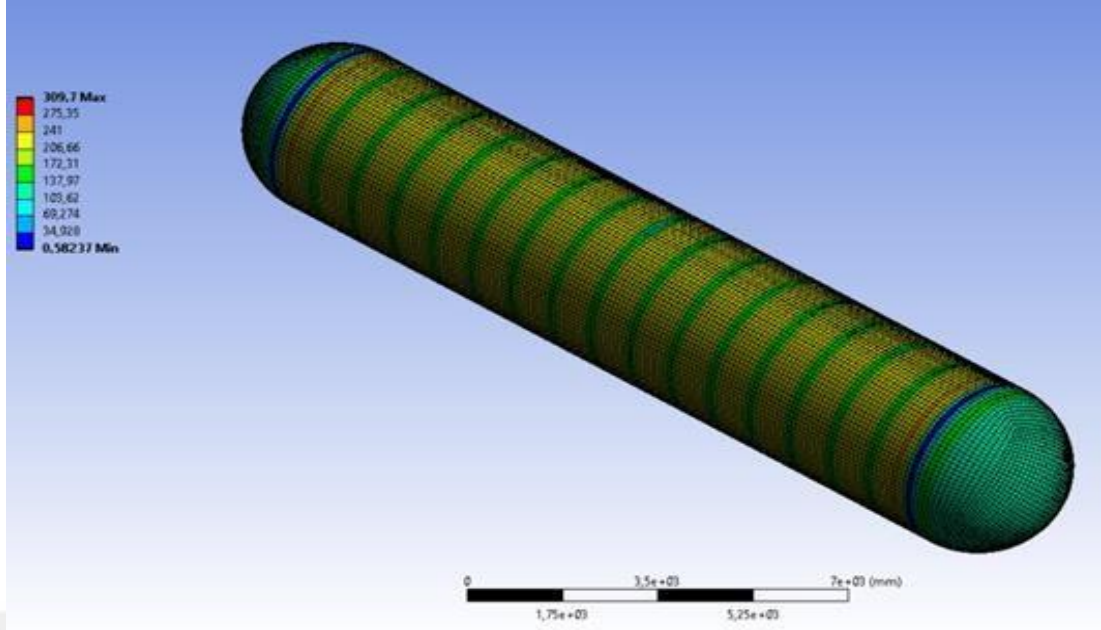
| Sac kalınlığı (mm) | 17 posta için yapısal ağırlığı (ton) | 33 posta için yapısal ağırlığı (ton) | 67 posta için yapısal ağırlığı (ton) |
|-----------------------|--|--|--|
| 10 (Ti-6211) | 12,17201 | 14,3404 | 18,94822 |
| 12 (Ti-6211) | 14,1536 | 16,32198 | 20,9298 |
| 14 (Ti-6211) | 16,13784 | 18,30623 | 22,91405 |
| 16 (Ti-6211) | 18,12475 | 20,29313 | 24,90096 |
| 18 (Ti-6211) | 20,11431 | 22,2827 | 26,89052 |
| 20 (Ti-6211) | 22,10654 | 24,27492 | 28,88275 |



Şekil 5.14: Ti-6211 alaşımı malzemesi için derinlik ile L_p/D grafiği



Şekil 5.15: Ti-6211 alaşımı için yapısal ağırlık/derinlik oranı



Şekil 5.16: 300 metre derinlikte Model_A.4.5 için von-Mises gerilmeleri

5.1.4 Grade A Çelik

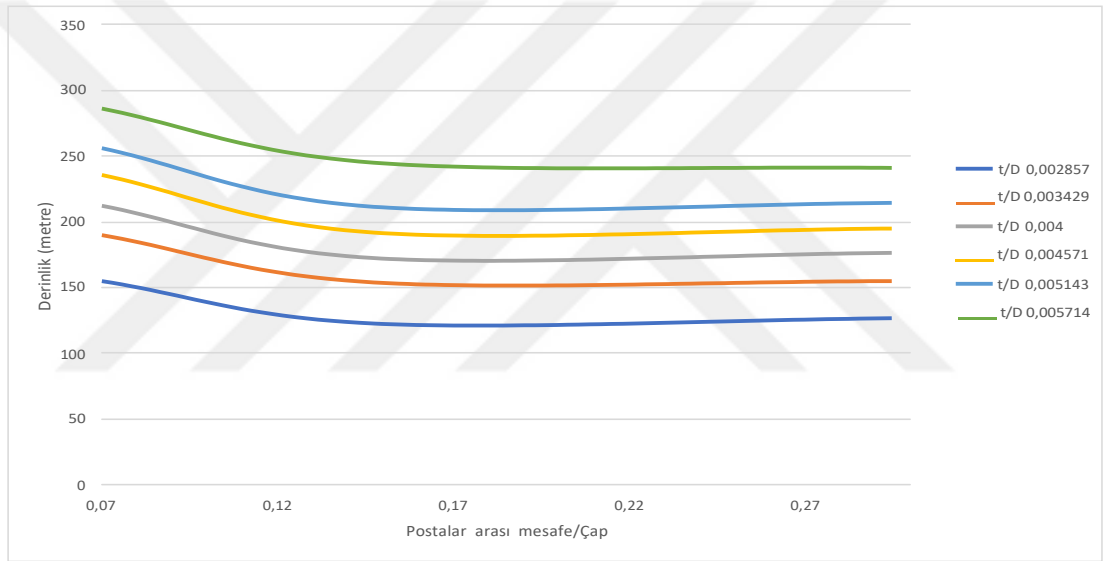
Grade A çeliği malzemesi ile yapılan analizlerin sonuçları bu bölümde grafikler ve görseller ile gösterilmiştir. Kullanılan mukavim teknelerin yapısal ağırlıkları Çizelge 5.5’ de belirtilmiştir.

Şekil 5.17’ de hesaplanan analizlerde mukavim teknesinin çapı sabittir. Mukavim teknesinin sac kalınlığı ve postalar arası mesafe değiştirilerek, mukavim teknesinin ezilme derinliğini grafiği çizilmiştir. Postlar arası mesafe azaldığında ya da sac kalınlığı arttığında ezilme derinliği artmıştır. Ezilme derinliğinin artması beklenen bir sonuçtur. Şekil 5.17 için hesaplanan analiz sonuçları ile Çizelge 5.5’ deki yapısal ağırlık değerleri karşılaştırılarak Şekil 5.18 grafiği elde edilmiştir.

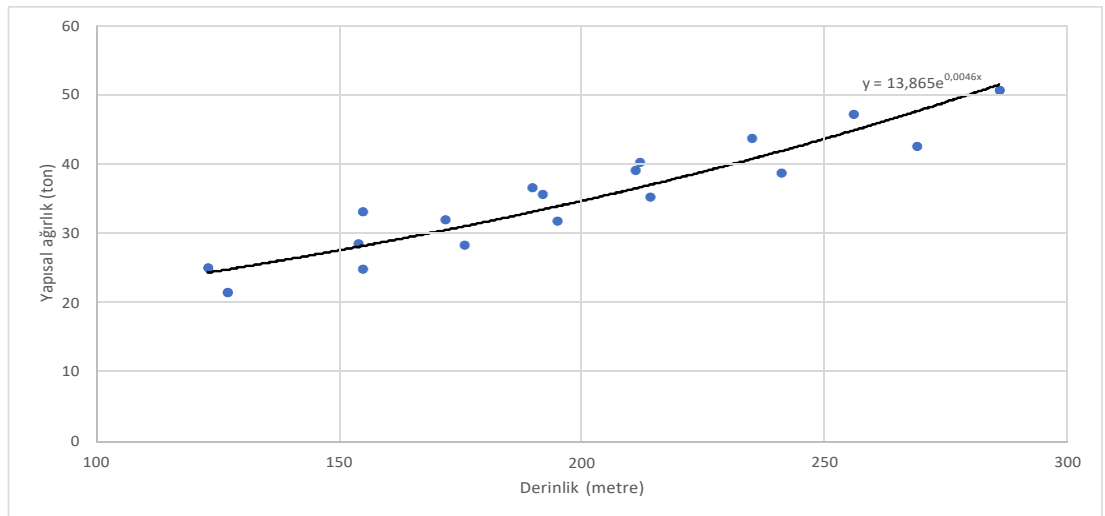
Şekil 5.18’ de mukavim teknesinin çapı sabit olup hesaplanan analizlerde, mukavim teknesinin yapısal ağırlığına göre ezilme derinliği grafiği çizilmiştir. Bu grafikte değişkenler, postalar arası mesafe ve sac kalınlığıdır. Yapısal ağırlık arttıkça, mukavim teknenin ezileme derinliği artmıştır. Bu ezileme derinliğinin artışı beklenen bir sonuçtur.

Çizelge 5.5: Grade A çeliği için modellerin yapısal ağırlıkları

| Sac kalınlığı (mm) | 17 posta için yapısal ağırlığı (ton) | 33 posta için yapısal ağırlığı (ton) | 67 posta için yapısal ağırlığı (ton) |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 10 (Grade A) | 21,32819 | 25,1277 | 33,20168 |
| 12 (Grade A) | 24,80039 | 28,5999 | 36,67388 |
| 14 (Grade A) | 28,27725 | 32,07676 | 40,15074 |
| 16 (Grade A) | 31,75876 | 35,55828 | 43,63225 |
| 18 (Grade A) | 35,24494 | 39,04446 | 47,11843 |
| 20 (Grade A) | 38,73579 | 42,5353 | 50,60928 |

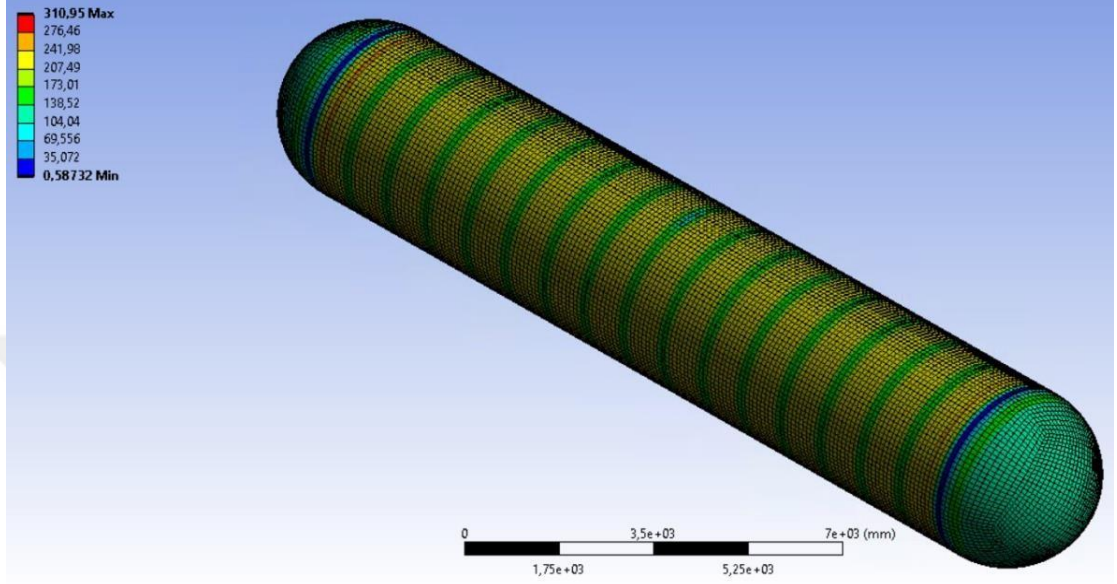


Şekil 5.17: Grade A çeliği malzemesi için derinlik ile L_p/D grafiği

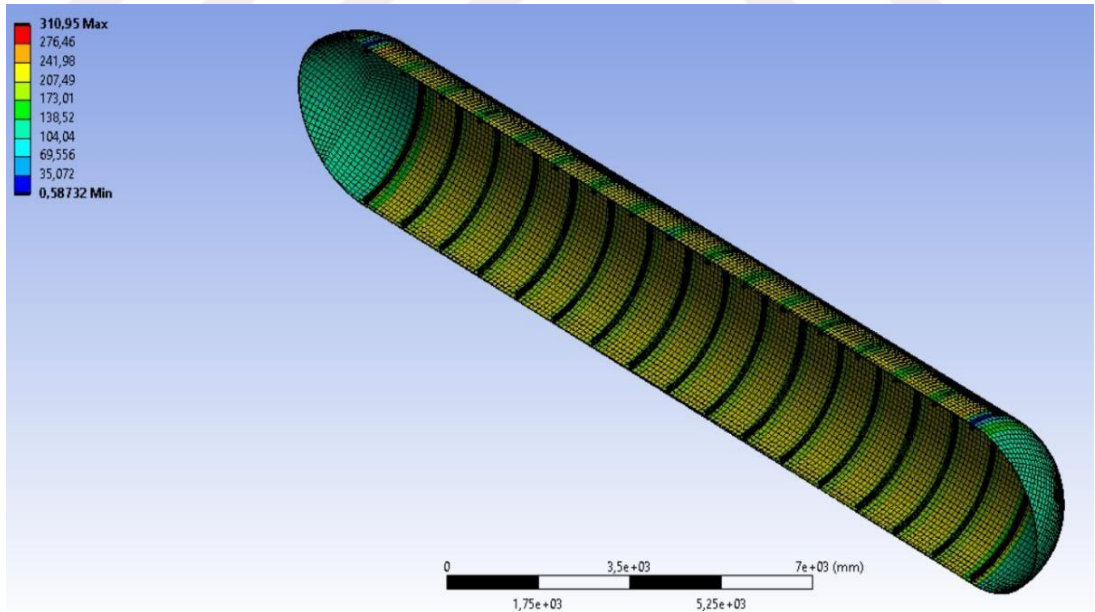


Şekil 5.18: Grade a çeliği için yapısal ağırlık/derinlik oranı

Model_A.5.5 için 300 metre derinliğinde yapılan analiz sonucu oluşan von-Mises gerilmeleri Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’ de gösterilmiştir. Bu modelin özellikleri; mukavim teknesinin saç kalınlığı 20mm, pota miktarı 17, mukavim teknesinin çapı 3500mm ve mukavim teknesinin malzemesi Grade A çeliğidir.



Şekil 5.19: 300 metre derinlikte Model_A.5.5 için von-Mises gerilmeleri



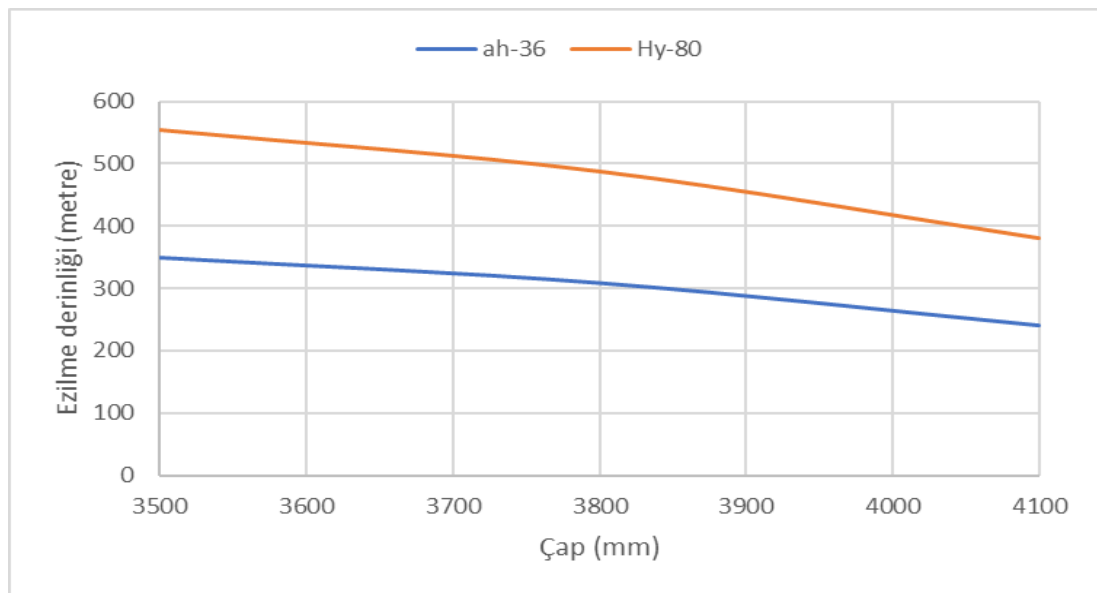
Şekil 5.20: 300 metre derinlikte Model_A.5.5 için von-Mises gerilmeleri

5.2 Çapın Mukavim Teknesine Etkisi

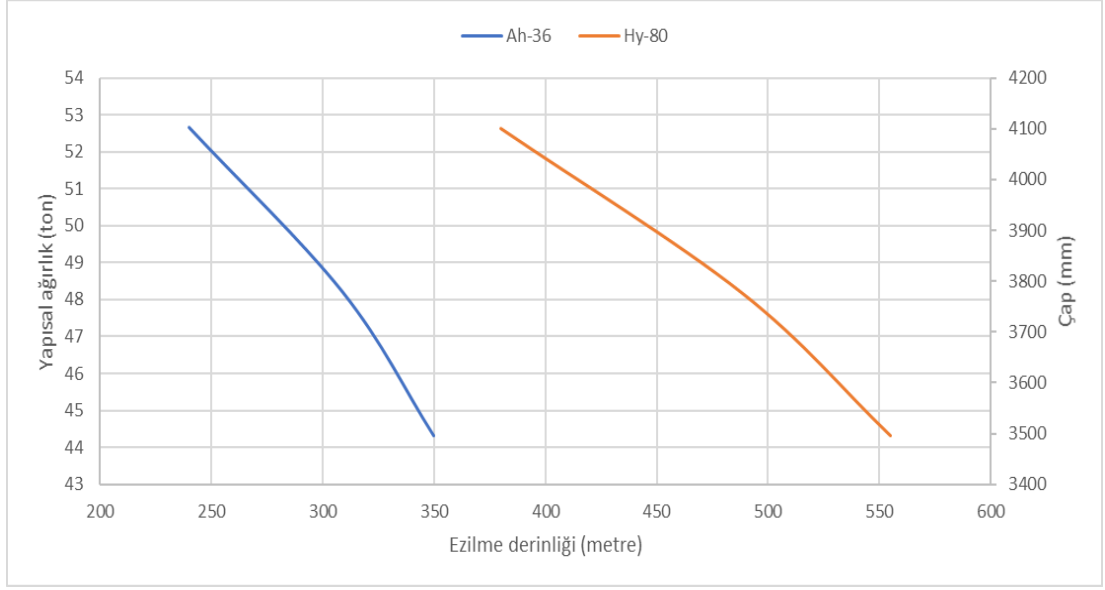
Bu bölümde çap değişiminin, mukavim teknesine etkisi incelenmiştir. Mukavim teknesinin uzunluğu, postalar arası mesafe ve sac kalınlığı sabittir. 3 farklı çap kullanılmıştır. Kullanılan çap boyutları; 3500 mm, 3800 mm ve 4100 mm. Postalar arası mesafe 400 mm ve sac kalınlığı 20 mm. Verileri daha iyi değerlendirebilmek için analiz sonuçları grafikler halinde sunulmuştur. Şekil 5.21’ de çap değiştirilerek, mukavim teknesinin ezilme derinliği grafiği çizilmiştir. Kullanılan mukavim teknelerin yapısal ağırlıkları Çizelge 5.6’ da belirtilmiştir. Şekil 5.21 hesaplanan analiz sonuçları ile Çizelge 5.6’ daki yapısal ağırlık değerleri karşılaştırılarak Şekil 5.22 grafiği elde edilmiştir. Şekil 5.22’ deki grafikte; malzeme, çap ve yapısal ağırlık parametrelerinden seçilerek, mukavim teknesinin ezilme derinliği elde edilir.

Çizelge 5.6: Modellerin yapısal ağırlıkları

| Model | Yapısal Ağırlık (ton) | D (mm) |
|-------------|-----------------------|--------|
| Model_D.1.1 | 44,326 | 3500 |
| Model_D.1.2 | 48,212 | 3800 |
| Model_D.1.3 | 52,655 | 4100 |
| Model_D.2.1 | 44,315 | 3500 |
| Model_D.2.2 | 48,2 | 3800 |
| Model_D.2.3 | 52,642 | 4100 |



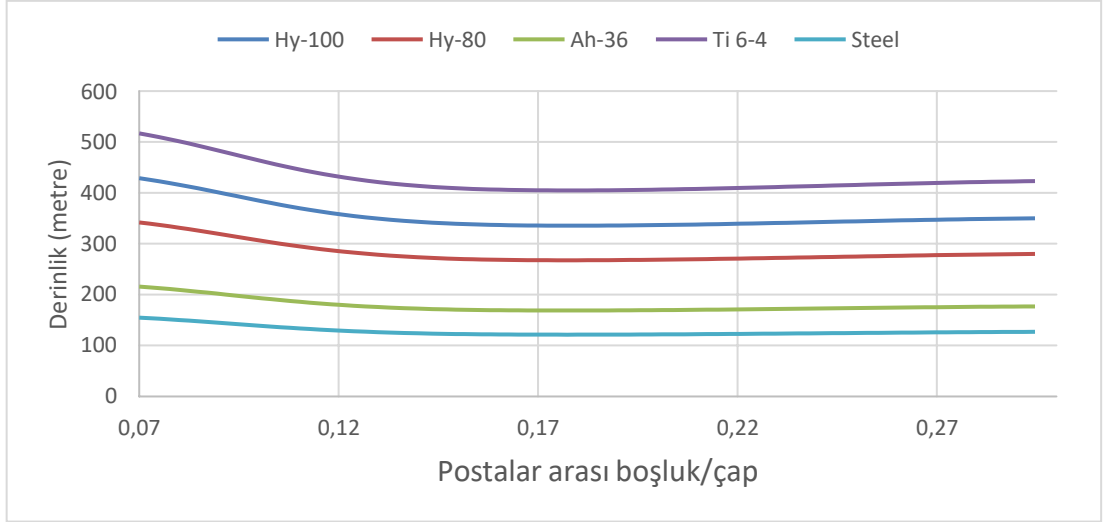
Şekil 5.21: Ah-36 ve Hy-80 için mukavim teknesinin çapına göre ezilme derinliği



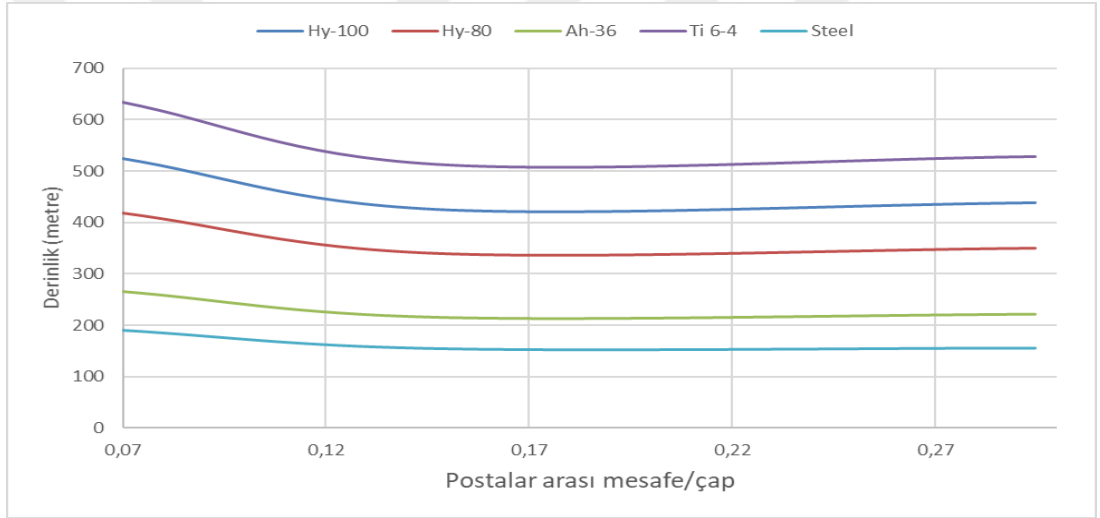
Şekil 5.22: Ah-36 ve Hy-80 malzemeleri için 20mm sac kalınlığında yapısal ağırlık/derinlik oranı

5.3 Postalar Arası Mesafenin Çapa Oranının Etkisi

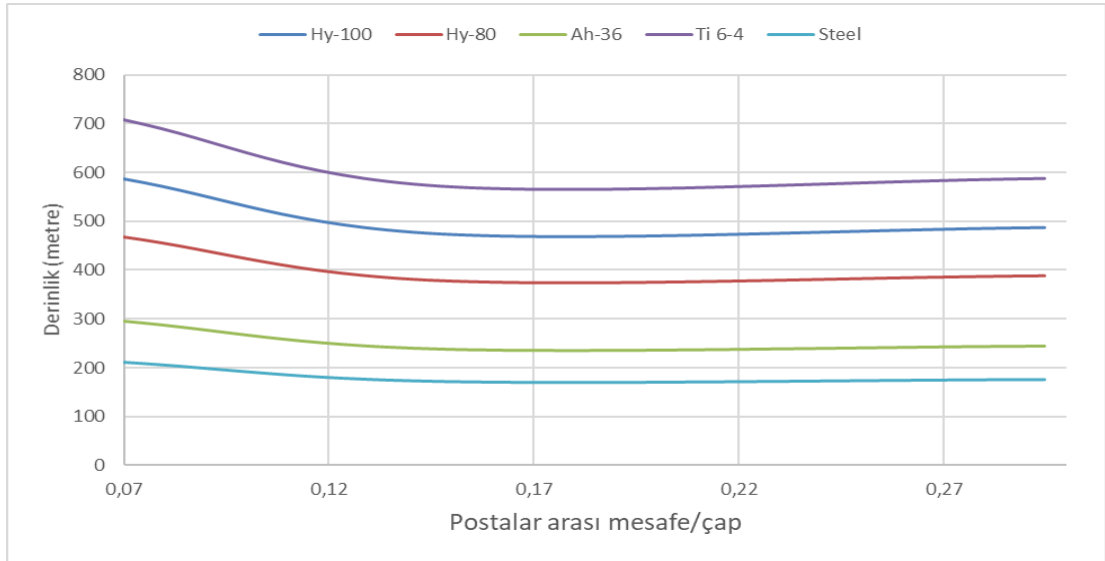
Bu bölümde t/D oranları ve mukavim teknesinin uzunluğu sabit tutularak, malzemelere göre mukavim teknesinin ezilme derinliği incelenmiştir. Verileri daha iyi değerlendirebilmek için analiz sonuçları grafikler ve Çizelgeler halinde sunulmuştur. Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27 ve Şekil 5.28 grafiklerinde postalar arası mesafenin çapa oranının (L_P/D), mukavim teknesinin ezilme derinliği ilişkisi çizilmiştir. Analiz sonuçlarına göre L_P/D oranı azaldıkça, mukavim teknesinin ezilme derinliği artmıştır.



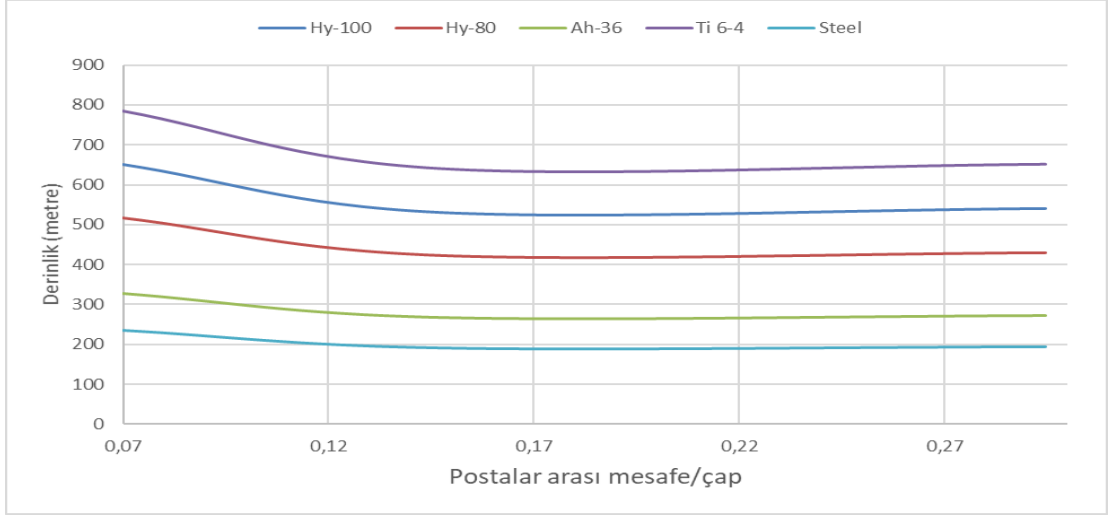
Şekil 5.23: $t/D = 0,002857$ için derinlik ile L_P/D grafiği



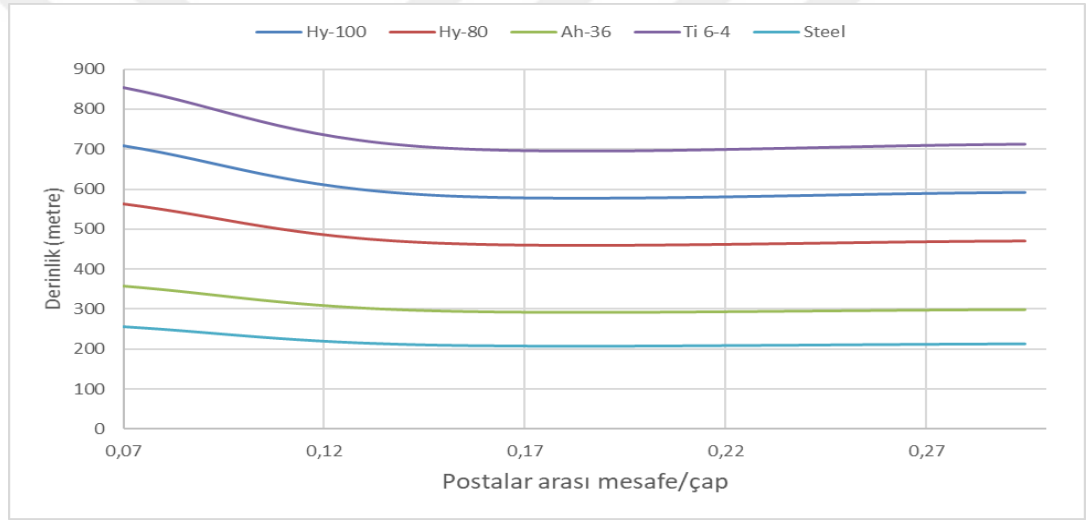
Şekil 5.24: $t/D = 0,003429$ için derinlik ile L_P/D grafiği



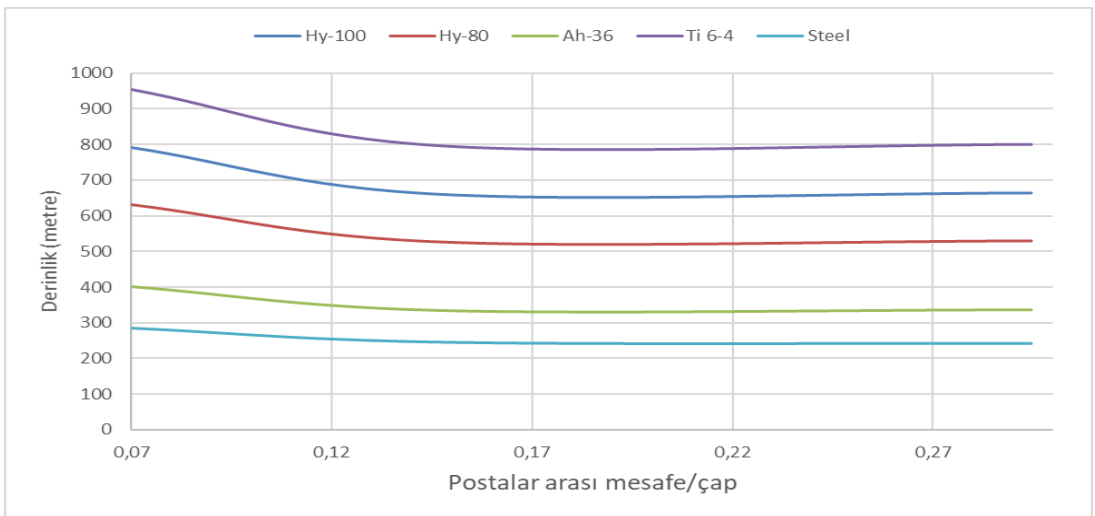
Şekil 5.25: $t/D = 0,004$ için derinlik ile L_P/D grafiği



Şekil 5.26: $t/D = 0,004571$ için derinlik ile L_P/D grafiği



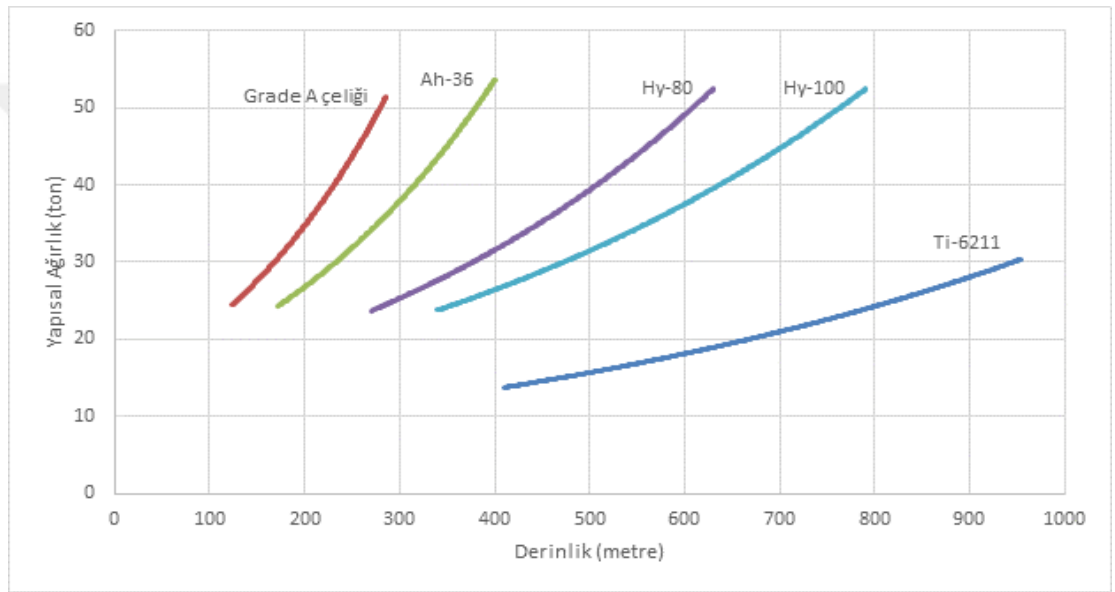
Şekil 5.27: $t/D = 0,005143$ için derinlik ile L_P/D grafiği



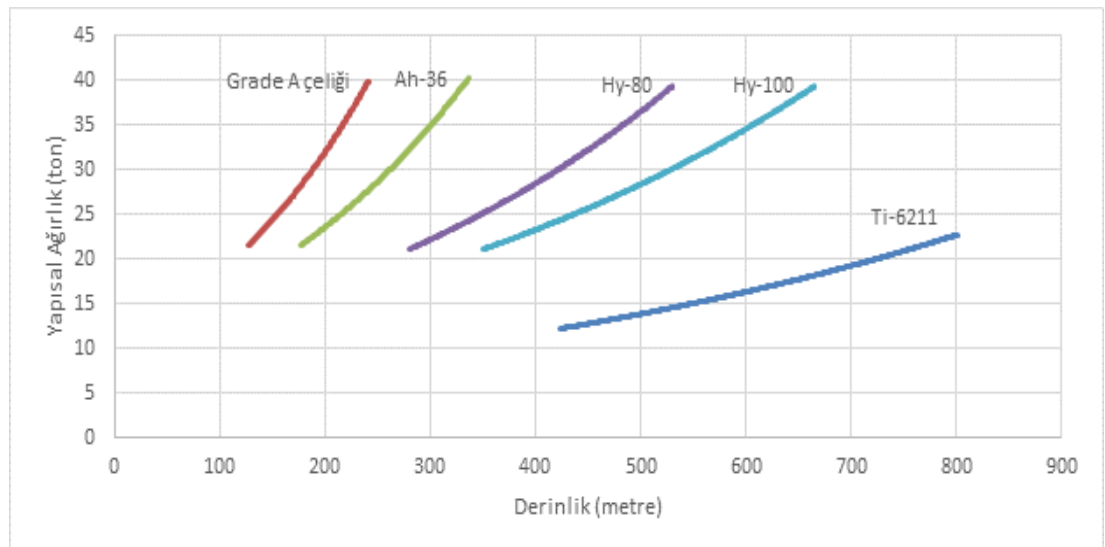
Şekil 5.28: $t/D = 0,05714$ için derinlik ile L_P/D grafiği

5.4 Yapısal Ağırlık ile Ezilme Derinliklerinin İlişkisi

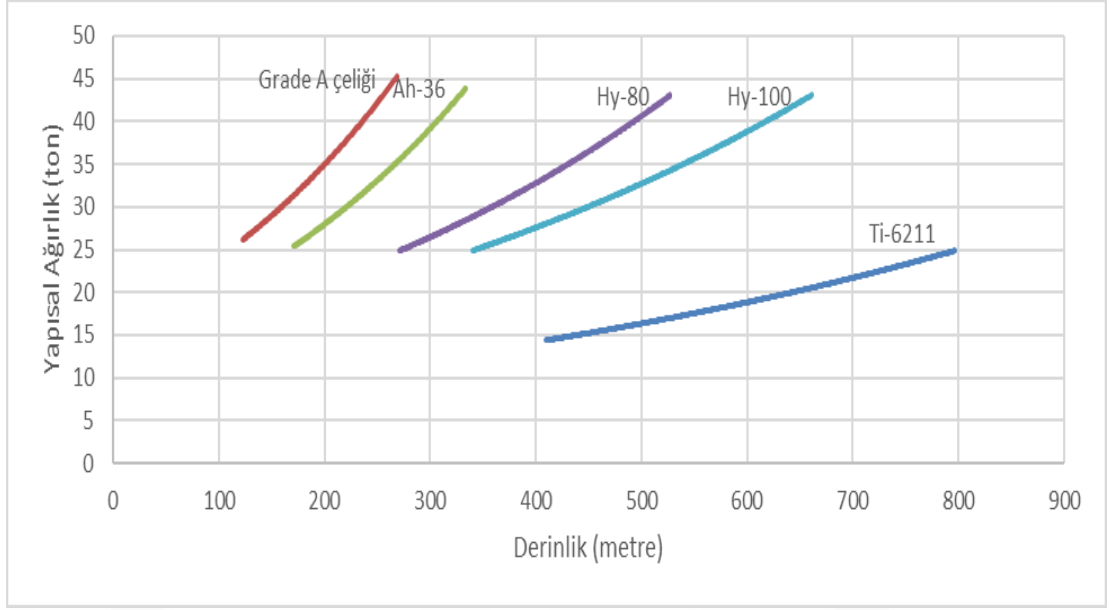
Bu bölümde mukavim teknesinin, derinliğe göre yapısal ağırlığı grafiği verilmiştir. Verileri daha iyi değerlendirebilmek için analiz sonuçları grafikler halinde sunulmuştur. Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.11, Şekil 5.15 ve Şekil 5.18 grafik verileri kullanılarak çizilen Şekil 5.29 grafiği, mukavim teknesinin yapısal ağırlığı ve malzeme seçimine göre mukavim teknesinin ezilme derinliğini elde edilir. Şekil 5.30, Şekil 5.31 ve Şekil 5.32 grafikleri, Şekil 5.29 grafiğinin posta miktarına göre ayrılmış grafikleridir.



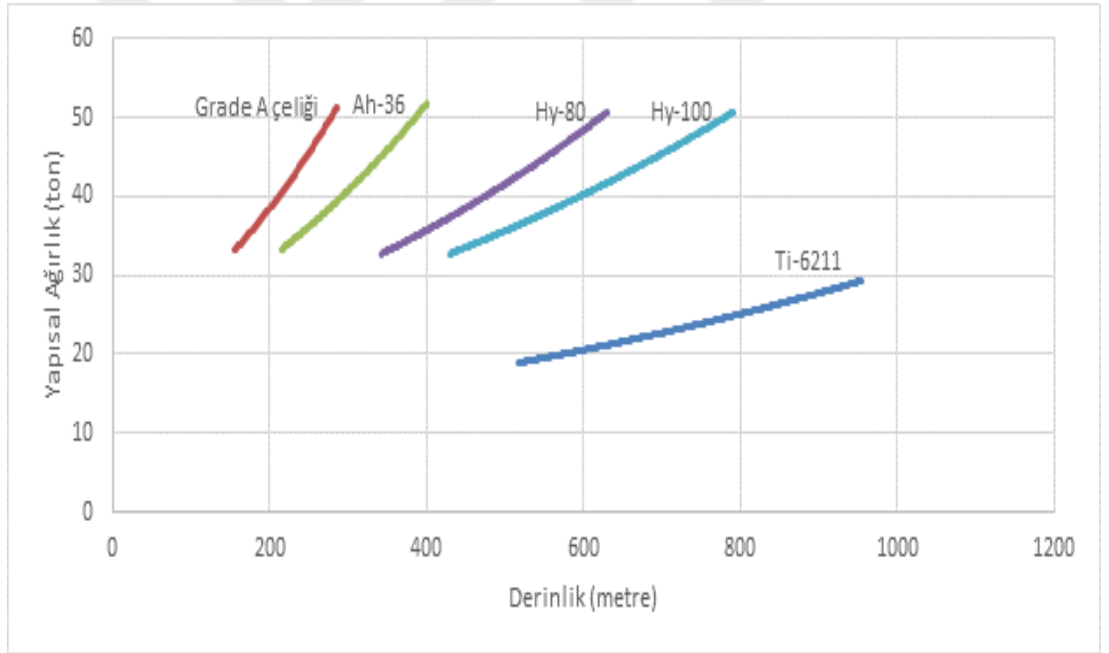
Şekil 5.29: Malzemelere göre ezilme derinlikleri ve yapısal ağırlıkları



Şekil 5.30: Malzemelere göre ezilme derinlikleri ve yapısal ağırlıkları (17 posta)



Şekil 5.31: Malzemelere göre ezilme derinlikleri ve yapısal ağırlıkları (33 posta)



Şekil 5.32: Malzemelere göre ezilme derinlikleri ve yapısal ağırlıkları (67 posta)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada denizaltının mukavim teknesinin yapısal tasarımı değiştiğinde, ezilme derinliğini nasıl etkilediği incelenmektedir. Analiz verileri incelendiğinde, mukavim teknesinin çapının azalması, kullanılan malzemenin akma sınırının artması, postalar arası mesafenin azalması ve sac kalınlığının artmasıyla, ezilme derinliğinin arttığı görülmüştür. Bu değişkenlerden en önemlisi, akma dayanımı olmuştur. Titanyum alaşımı kullanarak dayanım artmakta ve önemli bir seviyede yapısal ağırlık azalmaktadır. Aynı yapısal ağırlıkta titanyum alaşımı kullanıldığı zaman, analizde kullanılan diğer malzemelere göre denizaltı daha derine dalabilmektedir.

Konsept tasarımda, en önemli parametrelerden birisi mukavim teknesinin boyutlandırılmasıdır. Tasarımın dengesi için sephiye ve toplam ağırlık en büyük etkindir. Bu etkenler tasarımcının önüne birtakım kararlar alınması için yardımcı olmaktadır. Sac kalınlığı, çap, malzeme ve posta aralığı dışında yapısal tasarım değiştirilerek analizler yapılabilir. Buradan başlanarak daha fazla malzeme, kalınlık, gövde formu ve çalışma şartları eklenerek analiz miktarını yapısal tasarım için optimizasyon yapılabilir. Diğer araştırmacılar, bu çalışmayı kullanarak daha geniş bir çalışma yapabilirler.

KAYNAKLAR

Fathallah, E. ve Helal, M. (2016). Optimum Structural Design Of Deep Submarine Pressure Hull To Achieve Minimum Weight, ICCAE-11-2016.

NR 535 DT R00 E (2016). Rules for the Classification of Naval Submarines, Bureau Veritas, Fransa.

Šabalja, T. (2014). Structural Design Of A Typhoon Class Submarine.

Smith, A. D. (1994). The Effects Of Radial Support Characteristics On Submarine Hull Instability Pressures

Internet Kaynakları

Url-1<<http://www.taussmarine.com/seyirdefteri/index.php/denizaltilarin-tarihsel-gelisimi> >, alındığı tarih: 08.05.2021.

Url-2<<http://www.denizaltici.com/aboutus-submarine-sec3.html/>>, alındığı tarih: 11.05.2021.

Url-3<<https://www.history.navy.mil/browse-by-topic/ships/submarines.html/>>, alındığı tarih: 15.05.2021.

Url-4<https://www.engr.uvic.ca/~mech410/lectures/FEA_Theory.pdf>, alındığı tarih: 5.06.2021.

Url-5<https://en.wikipedia.org/wiki/Ship_classification_societys>, alındığı tarih: 5.06.2021.

Url-6<<https://fas.org/man/dod-101/sys/ship/deep.html>>, alındığı tarih: 06.06.2021.

Url-7<<https://www.ceyrekmuhendis.com/sonlu-elemanlar-analizi-nedir/>>, alındığı tarih: 01.06.2021.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Kerem Özdemir

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans: 2019, İstanbul Gedik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği

