

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KARADENİZ TİPİ BALIKÇI TEKNELERİ İÇİN TÜRK LOYDU ONAYLI
DÜMEN ROD-YELPAZE TASARIMININ GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Efnan BAŞARAN

EKİM 2024

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KARADENİZ TİPİ BALIKÇI TEKNELERİ İÇİN TÜRK LOYDU ONAYLI
DÜMEN ROD-YELPAZE TASARIMININ GELİŞTİRİLMESİ**

Efnan BAŞARAN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
" GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ YÜKSEK MÜHENDİSİ "**
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 / 09 / 2024

Tezin Savunma Tarihi : 28 / 10 / 2024

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hasan ÖLMEZ

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

“Karadeniz Tipi Balıkçı Tekneleri İçin Türk Loydu Onaylı Dümen Rod-Yelpaze Tasarımının Geliştirilmesi” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Tez sürecimde, değerli bilgi ve deneyimleriyle yoluma rehberlik eden ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hasan ÖLMEZ’e içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte her zaman yanımda olan ve mezunu olmaktan gurur duyduğum Karadeniz Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü’ndeki kıymetli hocalarıma, araştırma görevlilerine ve eğitim hayatımda emeği geçen tüm öğretmenlerime saygılarımı sunarım.

Yaptıkları projelerle tez çalışmamın ilham kaynağı olan ve desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen Başaran Gemi Sanayi Tersanesi yönetimine ve çalışanlarına minnettarım. Ayrıca, çalışmanın gelişimine büyük katkı sağlayan başta plan onay mühendisi Beytullah ÇELEN olmak üzere Türk Loydu ekibine katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Doğduğum günden beri elimi hiç bırakmayan, hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve her kararında arkamda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan annem Nuriye BAŞARAN ve babam Hakan BAŞARAN’a ve kardeşlerime teşekkür eder, minnettarlığımı sunarım.

Bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Efnan BAŞARAN

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “ Karadeniz Tipi Balıkçı Tekneleri İçin Türk Loydu Onaylı Dümen Rod-Yelpaze Tasarımının Geliştirilmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Hasan ÖLMEZ’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri ve örnekleri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresinde bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 28/10/2024

Efnan BAŞARAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IIX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Literatür Taraması.....	5
1.2. Gemi Dümeninin İşlevleri	8
1.3. Dümenin Temel Yapısal Bileşenleri	8
1.3.1. Dümen Rodu Tanımı	8
1.3.2. Dümen Yelpazesı Tanımı	8
1.4. Dümen Çeşitleri	9
1.4.1. Dengesiz Dümen	9
1.4.2. Yarı Dengeli Dümen.....	9
1.4.3. Dengeli Dümen	10
1.5. Türk Loydu'nda Dümen Sınıflandırması	10
1.6. Dümen Tasarım Süreci.....	12
1.6.1. Modern Dümen Tasarım Süresi.....	13
1.6.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile Dümen Tasarımı.....	14
1.7. Türk Loydu Kurallarına Göre Yapılan Hesaplamalar	14
1.7.1. Dümen Kuvveti Hesabı.....	15
1.7.2. Dümen Yelpaze Alanı Hesabı.....	15
1.7.3. Dümen Burulma Momenti Hesabı	16
1.7.4. Dümen Rod Çapı Hesabı	16
1.7.5. Dümen Kalınlığı Hesabı	17
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	18
2.1. Geliştirilen Model-1 (DMN-1)	18

2.1.1.	Dümen Sistemi Ön Dizayn Hesapları ve Ana Boyutları	19
2.1.2.	Türk Loydu Dümen Kuvveti ve Dümen Burulması Hesabı	21
2.1.3.	Dümen Rodu Burulma Momenti Hesabı	22
2.1.4.	Sonlu Elemanlar Analizleri.....	26
2.2.	Türk Loydu Tarafından Önerilen Model (DMN-TL).....	40
2.3.	Geliştirilen Model-2 (DMN-2)	41
2.4.	Geliştirilen Model-3 (DMN-3)	43
2.5.	Geliştirilen Model-4 (DMN-4)	45
2.6.	Geliştirilen Model-5 (DMN-5)	46
2.7.	Geliştirilen Model-6 (DMN-6)	48
2.8.	DMN-7 Ön Dizayn Hesapları ve Ana Boyutları.....	50
2.8.1.	Türk Loydu Kuvveti ve Dümen Burulma Hesabı	52
2.8.2.	Sonlu Elemanlar Analizi (SEA)	54
2.9.	DMN-8 Ön Dizayn Hesapları ve Ana Boyutları.....	56
2.9.1.	Türk Loydu Kuvveti ve Dümen Burulma Hesabı	58
2.9.2.	Sonlu Elemanlar Analizi (SEA)	61
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	64
4.	KAYNAKLAR	67
5.	EKLER	69
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

KARADENİZ TİPİ BALIKÇI TEKNELERİ İÇİN TÜRK LOYDU ONAYLI DÜMEN ROD-YELPAZE TASARIMININ GELİŞTİRİLMESİ

Efnan BAŞARAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hasan ÖLMEZ
2024, 68 Sayfa

Trabzon'un Sürmene ilçesine bağlı Yeniay ve Çamburnu mahallelerinde yer alan Yeniçam Tersane Bölgesi'ndeki tersanelerin birçoğu, 20. yüzyılın başlarında küçük ölçekli ahşap tekne imalatıyla faaliyetlerine başlamıştır. Bu bölge günümüzde modern yapıya sahip gemilerin inşa edildiği bir gemi inşa sahasına dönüşmüştür. Bu çalışma kapsamında, bölgede üretilen Karadeniz tipi balıkçı teknelerinin dümen sistemlerinde zamanla yapılan değişiklikler incelenmiştir. Bunun yanı sıra, bölgedeki tersane müdürleri ve gemi sahipleri ile yapılan görüşmeler aracılığıyla dümenlerin mevcut durumu ve ihtiyaçları belirlenmiştir.

Elde edilen veriler doğrultusunda, balıkçılık sektöründe kullanılan balık avlama ve balıkçılık yardımcı gemileri gibi türler için yeni bir dümen tasarımı geliştirilmiştir. Her bir tasarımın analizi sonucunda, dümen yelpazesi üzerindeki kuvvet ve burulma momenti değerleri hesaplanmış, bu değerlere bağlı olarak gerekli dümen rodu çapı ile dümen yelpazesi kalınlığı belirlenmiştir. Nihai tasarım, Türk Loydu klas kuruluşu tarafından onaylanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gemi dümeni tasarımı, Balıkçı gemisi dümeni, Yapısal analiz

Master's Thesis

SUMMARY

DEVELOPMENT OF TÜRK LOYDU APPROVED RUDDER ROD AND BLADE DESIGN FOR BLACK SEA TYPE FISHING VESSELS

Efnan BAŞARAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Naval Architecture and Marine Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Hasan ÖLMEZ
2024, 68 Pages

Many of the shipyards located in the Yeniçam Shipyard Region, situated in the Yeniay and Çamburnu neighborhoods of Sürmene, Trabzon, began operations in the early 20th century with small-scale wooden boat construction. Today, this region has evolved into a shipbuilding area where modern vessels are constructed. This study investigates the changes made over time in the rudder systems of Black Sea-type fishing vessels produced in the region. In addition, the current state and needs of these rudders were identified through interviews with shipyard managers and vessel owners.

Based on the data obtained, a new rudder design was developed for vessel types used in the fishing industry, such as fishing vessels and fishery support vessels. The analyses of each design involved calculating the forces and torsional moments acting on the rudder blade. Accordingly, the required rudder stock diameter and rudder blade thickness were determined. The final design was approved by the Türk Loydu classification society and subsequently manufactured.

Key Words: Ship rudder design, Fishing vessel rudder, Structural analysis

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Tadilat yapılmış dümen	2
Şekil 2. Mevcut dümen tasarımlarına örnekler	3
Şekil 3. Cıvata bağlantılı dümen	4
Şekil 4. Dümen çeşitleri.....	10
Şekil 5. Askı dümenler	10
Şekil 6. Kovanlı askı dümenler	11
Şekil 7. Topuk ile desteklenen dümenler.....	11
Şekil 8. Tek elastik destekli yarı askı dümenler.....	11
Şekil 9. Karşılıklı iki elastik destekli yarı askı dümenler	12
Şekil 10. Tekne-dümen bağlantısı genel görünümü	19
Şekil 11. Dümende yük, eğilme moment ve kesme kuvveti dağılımı	22
Şekil 12. Grafik 1	22
Şekil 13. Grafik 2	23
Şekil 14. Hesaplama 1	24
Şekil 15. Hesaplama 2	24
Şekil 16. Grafik 3	25
Şekil 17. DMN240-1, DMN240-2, DMN240-3 model dümenlerin boyutlandırılmış gösterimi	26
Şekil 18. Ansys arayüz ana sayfa çözüm dosyaları.....	27
Şekil 19. Analiz 3D ve Ansys modeli, sınır şartları ve yükleme ayarları.....	27
Şekil 20. Ağ yapısı atanmış model (mesh)	28
Şekil 21. Toplam deformasyon, von-Mises eşdeğer gerilmesi ve kayma gerilmesi dağılımı	28
Şekil 22. Rod eşdeğer gerilmesi ve kayma gerilmesi ile yelpaze eşdeğer gerilmesi dağılımı	29
Şekil 23. Yelpaze kayma gerilmesi, model emniyet faktörü ve yapısal hata dağılımı	29
Şekil 24. Toplam deformasyon, von-Mises eşdeğer gerilmesi ve kayma gerilmesi dağılımı	30
Şekil 25. Rod eşdeğer gerilmesi ve kayma gerilmesi ile yelpaze eşdeğer gerilmesi dağılımı	30
Şekil 26. Yelpaze kayma gerilmesi, model emniyet faktörü ve yapısal hata dağılımı	31

Şekil 27.	Toplam deformasyon, von-Mises eşdeğer gerilmesi ve kayma gerilmesi dağılımı	31
Şekil 28.	Rod eşdeğer gerilmesi ve kayma gerilmesi ile yelpaze eşdeğer gerilmesi dağılımı	32
Şekil 29.	Yelpaze kayma gerilmesi, model emniyet faktörü ve yapısal hata dağılımı	32
Şekil 30.	Topuk ile desteklenen dümendeki yük, eğilme moment ve kesme kuvveti dağılımı.....	33
Şekil 31.	Ansys kiriş analizi arayüz anasayfa çözüm dosyaları.....	34
Şekil 32.	Kiriş analizi ön ayarları.....	34
Şekil 33.	Toplam ve y-ekseni deformasyon ile burulma momenti dağılımı.....	35
Şekil 34.	Eğilme momenti, kesme kuvveti model üzeri dağılımı	35
Şekil 35.	Toplam eğilme momenti, kesme kuvveti ve yer değiştirme dağılım diyagramı.....	36
Şekil 36.	Kiriş analizi ön ayarları.....	36
Şekil 37.	Toplam ve y-ekseni deformasyon ile burulma momenti dağılımı.....	37
Şekil 38.	Eğilme momenti, kesme kuvveti model üzeri dağılımı	37
Şekil 39.	Toplam eğilme momenti, kesme kuvveti ve yer değiştirme dağılım diyagramı.....	38
Şekil 40.	Kiriş analizi ön ayarları.....	38
Şekil 41 .	Toplam ve y-ekseni deformasyon ile burulma momenti dağılımı.....	39
Şekil 42.	Eğilme momenti, kesme kuvveti model üzeri dağılımı	39
Şekil 43.	Toplam eğilme momenti, kesme kuvveti ve yer değiştirme dağılım diyagramı.....	40
Şekil 44.	DMN-TL modelinin uygulama ve analiz görselleri	41
Şekil 45.	DMN-2 genel görünüş, yükleme ve sınır şartları	42
Şekil 46.	DMN-2 toplam deformasyon ve von-Mises gerilme dağılımları	43
Şekil 47.	DMN-3 genel görünüş, yükleme ve sınır şartları	44
Şekil 48.	DMN-3 toplam deformasyon ve von-Mises gerilme dağılımları	44
Şekil 49.	DMN-4 genel görünüş, yükleme ve sınır şartları	45
Şekil 50.	DMN-4 toplam deformasyon ve von-Mises gerilme dağılımları	46
Şekil 51.	DMN-5 genel görünüş, yükleme ve sınır şartları	47
Şekil 52.	DMN-5 toplam deformasyon ve von-Mises gerilme dağılımları	48
Şekil 53.	DMN-6 genel görünüş, yükleme ve sınır şartları	49
Şekil 54.	DMN-6 toplam deformasyon ve von-Mises gerilme dağılımları	50
Şekil 55.	Tekne-dümen bağlantısı genel görünümü.....	51

Şekil 56.	DMN-7-Orta ve DMN-7-İskele/Sancak dümenlerin boyutlandırılmış gösterimi.....	53
Şekil 57.	Analiz 3D ve Ansys modeli, sınır şartları ve yükleme ayarları.....	54
Şekil 58.	Ağ yapısı atanmış model (mesh)	54
Şekil 59.	Yelpaze kısımları von-Mises eşdeğer gerilmesi ve toplam deformasyon dağılımı	55
Şekil 60.	Korkmazlar Balıkçılık 1 isimli balık avlama gemisi dümenleri.....	56
Şekil 61.	Kullanılacak dümen sisteminin teknik görünümü.....	57
Şekil 62.	Tekne-dümen bağlantısı genel görünümü.....	57
Şekil 63.	DMN-8 Orta ve DMN-8 İskele/Sancak dümenlerin boyutlandırılmış gösterimi.....	60
Şekil 64.	Analiz 3D ve Ansys modeli, sınır şartları ve yükleme ayarları.....	61
Şekil 65.	Ağ yapısı atanmış model (mesh)	61
Şekil 66.	Yelpaze kısımları von-Mises eşdeğer gerilmesi ve toplam deformasyon dağılımı	62
Şekil 67.	Mamati Hüseyin isimli balık avlama gemisi dümenleri	63

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Dümen sistemi bileşenleri ve malzeme özellikleri	20
Tablo 2. Minimum rod çapı ve yelpaze kalınlığı hesabı	21
Tablo 3. Dümen tipleri ve ana boyutları	26
Tablo 4. Karşılaştırmalı gerilme değeri sonuçları	29
Tablo 5. Karşılaştırmalı gerilme değeri sonuçları	31
Tablo 6. Karşılaştırmalı gerilme değeri sonuçları	33
Tablo 7. DMN-TL için hesaplanan ve limit gerilme değerinin karşılaştırılması	41
Tablo 8. DMN-2 için hesaplanan ve limit gerilme değerlerinin karşılaştırılması	43
Tablo 9. DMN-3 için hesaplanan ve limit gerilme değerlerinin karşılaştırılması	45
Tablo 10. DMN-4 için hesaplanan ve limit gerilme değerlerinin karşılaştırılması	46
Tablo 11. DMN-5 için hesaplanan ve limit gerilme değerlerinin karşılaştırılması	48
Tablo 12. DMN-6 için hesaplanan ve limit gerilme değerlerinin karşılaştırılması	50
Tablo 13. Dümen sistemi bileşenleri ve malzeme özellikleri	51
Tablo 14. DMN-7 Minimum rod çapı ve yelpaze kalınlığı hesabı	52
Tablo 15. Dümen tipleri ve ana boyutları	53
Tablo 16. Karşılaştırmalı gerilme değeri sonuçları	55
Tablo 17. Dümen sistemi bileşenleri ve malzeme özellikleri	58
Tablo 18. DMN-8 Minimum rod çapı ve yelpaze kalınlığı hesabı	59
Tablo 19. Dümen tipleri ve ana boyutları	60
Tablo 20. Karşılaştırmalı gerilme değeri sonuçları	62
Tablo 21. Geliştirilen tüm modeller için karşılaştırmalı gerilme değeri sonuçları ve TL onay durumları	64

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α	: İleri ve tornistan hareketi için katsayı
Λ	: Dümen yelpazesinin A_t alanına ilişkin kenar oranı
A	: Dümen yelpaze alanı, $[m^2]$
A_f	: Dümen şaftı ekseninin baş tarafında yer alan yelpaze alanı, $[m^2]$
A_t	: Dümen yelpazesi alanı, A ve eğer varsa dümen bodoslaması ya da dümen boynuzu alanı toplamı, $[m^2]$
b	: Dümen yelpazesi alanının ortalama yüksekliği, $[m]$
c	: Dümen yelpazesi alanının ortalama genişliği, $[m]$
c_1	: Gemi tipine bağlı faktör
c_2	: Dümen tipine bağlı faktör
c_3	: Dümen profiline bağlı faktör
C_R	: Dümen kuvveti, $[N]$
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
D_t	: Dümen rodu çapı, $[mm]$
ISO	: Uluslararası Standart Organizasyonu
IMO	: Uluslararası Denizcilik Örgütü
k	: Malzeme faktörü
k_1	: Kenar oranına (Λ) bağlı katsayı
k_2	: Dümen tipine ve dümen yelpaze profili tipine bağlı katsayı
k_3	: Dümen yelpazesinin konumuna bağlı katsayı
k_b	: Balans faktörü
k_r	: Malzeme faktörü
L	: Geminin dikmeler arası boyu, $[m]$
M_b	: Boğaz yatağındaki eğilme momenti, $[N.m]$
Q_R	: Dümen burulma momenti, $[N.m]$
r	: Dümen kuvveti moment kolu mesafesi, $[m]$
R_{eH}	: Malzemeye ait minimum akma sınırı üst anma değeri, $[N/mm^2]$, $[MPa]$
s	: Federler arası boy, $[m]$
SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
SOLAS	: Denizde Can Güvenliği Uluslararası Sözleşmesi

T	: Draft, $[m]$
t_b	: Dümen yelpaze kalınlığı, $[mm]$
TL	: Türk Loydu
v	: Gemi hızı, $[kn]$
v_0	: Geminin ileri hızı, $[kn]$
v_a	: Geminin tornistan hızı, $[kn]$
$\sigma_{mod-egy}$	: von-Mises eşdeğer gerilmesi
τ_{mod}	: Model kayma gerilmesi
$\sigma_{ylp-egy}$	: Yelpaze için von-Mises eşdeğer gerilmesi
τ_{ylp}	: Yelpaze için kayma gerilmesi

1. GENEL BİLGİLER

Dümen sistemleri, geminin manevra kabiliyetini doğrudan etkileyen donanımlardır ve geminin seyir hızına bağlı olarak suyu yönlendirerek belirli bir rotayı takip etmesini, güvenli ve etkin bir şekilde yönlendirilmesini sağlar. Bu bağlamda, gemi dümen sistemi, geminin seyri esnasında büyük bir öneme sahiptir. Özellikle balıkçı gemileri gibi yüksek manevra kabiliyetine sahip olması gereken gemilerde, dümen sistemi tasarımı ve etkinliği daha da kritik hale gelir. Balıkçı gemilerinde, özellikle av operasyonları sırasında manevra kabiliyeti hayati önemdedir. Bu kabiliyet, dümen yelpazesi alanına, dümen açısına ve geminin hızına bağlıdır.

Trabzon ili Sürmene ilçesindeki Yeniçam Tersane Bölgesi, 20. yüzyılın başlarında küçük ölçekli ahşap tekne inşası ile faaliyetlerine başlamış, 1990'lı yıllardan itibaren ise sac gemi üretimine geçilmiştir. Bölgede uzun yıllar deneme-yanılma yoluyla gemi inşa faaliyetleri sürdürülmüş ve bu süreçte geleneksel bir dümen tasarımı oluşmuştur. Sac gemi imalatına geçişte, dümen tasarımı ahşap teknelerdeki tasarımlar ile aynı kalmış ve sac malzeme kullanılarak üretilmeye başlanmıştır. Bugün hâlâ kullanılan bu dümenler, uzun süredir aynı yapıda olmasına rağmen herhangi bir projelendirme ya da yapısal analiz yapılmamıştır. Günümüzde ise, gemi inşaatı ve gemi makineleri mühendislerinin katkılarıyla tasarım süreçleri daha teknik bir temele oturtulmuştur.

Bu çalışmada konu edilen 24-55 m tam boydaki Balık Avlama, Balıkçılık Yardımcı Gemisi vb. cinsteki gemilerin tasarım ve inşasında Yeniçam Tersane Bölgesindeki işletmeler yıllar içerisinde uzmanlaşmıştır ve yeni inşa faaliyetlerini günümüzde de sürdürmektedir. Günümüzde, balıkçı gemilerinin tasarım ve inşa süreçleri TL Kuralları Kısım 1- Tekne Yapım Kuralları (2023), TL Kuralları Kısım 14- Balıkçılık Gemileri (2001), TL Kuralları Kısım 14- Balıkçılık Gemileri (2023), Gemi ve Su Araçlarının İnşa, Tadilat ve Bakım Onarım Yönetmeliği (Sayı:29525, Tarih 7 Kasım 2015 Cumartesi, revizyonları ile) ve Balıkçı Gemilerinin Emniyeti Hakkında Yönetmelik (Resmî Gazete Sayısı: 26089) direktiflerine göre yürütülmektedir.

Türk Loydu'nun, Kısım 1-Tekne yapım Kuralları, Bölüm 18-Dümen ve Manevra Donanımı'nda, tasarlanması beklenen genel geçer dümen tipleri, bileşenleri, boyut hesapları ile yapısal gereksinimleri belirtilmektedir. Bu kurallar çerçevesinde, belirtilen boy aralığındaki gemilerde kullanılan sevk sistemleri, genellikle yukarıda belirtilen Bölüm 18

kurallarının kısmen dışında kalarak imal edilmekte olup mevcut dümen ve donanımların yapısal gereksinimleri karşılayıp karşılamadığı analiz edilmelidir. Ayrıca, daha güvenli yapısal limitleri sağlayacak iyileştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Gemilerde dümen tasarımı, hız değişimleri ve operasyonel gereksinimlere uygun olarak yapılmalıdır. Yeni inşa edilen balıkçı teknelerinde talep edilen ana boyutlar yıllar içinde artış göstermiştir. Bu durum, daha güçlü ana makinelerin kullanılmasını ve dolayısıyla daha büyük pervanelerin tercih edilmesini zorunlu kılmıştır. Gemi hızındaki artış, pervaneler üzerindeki yükü arttırmış ve bu da daha büyük pervane çaplarının kullanılmasına yol açmıştır. Artan makine gücü ve pervanelerin oluşturduğu akış, manevra kabiliyeti için daha büyük ve güçlü dümenlere ihtiyaç doğurmuştur.

Bir geminin dümen boyutları, büyük ölçüde geminin ana boyutları ve hızına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Daha büyük gemiler, daha büyük hacimde suyu yönlendirebilecek daha büyük dümenlere ihtiyaç duymaktadır. Dümen tasarımında yapısal iyileştirmeler, geminin hızına bağlı olarak artan pervane yüklemelerini karşılayacak şekilde gerçekleştirilmelidir. Tadilat gören ve ana boyutları değişen gemilerde, manevra kabiliyetini artırmak için dümen tasarımında da tadilat yapılmaktadır. Şekil 1'de tadilat yapılmış bir dümen örneği sunulmuştur.



Şekil 1. Tadilat yapılmış dümen

Bu çalışmada yürütülen dümen tasarım sürecinde, başlangıç modeli belirlenirken daha önce inşa edilen ve denizde faaliyet gösteren gemilerin dümenleri incelenmiştir. Mevcut dümen tasarımlarından örnekler Şekil 2'de yer almaktadır.

Başlangıç dümen modeli mevcut dümen tasarımları ve TL dümen modellerinden yola çıkılarak belirlenmiş, daha sonra Türk Loydu kuralları doğrultusunda gerekli yapısal değişikliklerle süreç ilerletilmiştir. Balıkçı teknelerinde manevra kabiliyetinin önemi göz önünde bulundurularak, uygun dümen yelpazesi ve bağlantı elemanlarının hesaplamaları dikkatle yapılmıştır.



Şekil 2. Mevcut dümen tasarımlarına örnekler

Başlangıç modeli oluşturulurken incelenen tasımlardan biri, şaftı dümen yelpazesi yüksekliğince uzanan cıvata bağlantılı bir dümen modelidir. Ancak, bu model bazı gemi sahipleri tarafından tercih edilmemektedir. Bu modelde, balık ağı cıvata bağlantısına takılarak zarar görebilmekte ve dümenin sağlıklı çalışmasını engelleyerek av operasyonunu aksatabilmektedir. Bu nedenle, bu tür dümenlere sahip gemilerin birçoğunun dümen tasarımı değiştirilmiştir. Bazı gemilerde ise, cıvataların üzerine kutu kaplama yapılarak çözüm üretilmiştir. Şekil 3'te kutu kaplama eklenmiş cıvata bağlantılı bir dümen tasarımı gösterilmektedir. Ayrıca, bu modelin bakım ve onarım sürecinde söküp takma işlemlerinin

zorluğu da bir başka dezavantaj olarak görülmektedir. Bu olumsuz tespitler nedeniyle, bu sistem referans olarak alınmamıştır.



Şekil 3. Cıvata bağlantılı dümen

TL kuralları gerekliliklerini karşılayacak bir dümen modeli oluşturulurken, TL kuralları yanında gemi sahiplerinin önüne ek maliyet çıkarmayacak ve gemi imalatçıları için uygulamada zorluk yaşamayacağı şekilde yapısal değişiklik ve iyileştirmeler yapılması temel ilke olarak benimsenmiştir. Maliyeti artırabilecek ve uygulamayı zorlaştırabilecek değişikliklerden kaçınılmış ve özellikle dümen kalınlığı gibi parametrelerde optimum koşullar sağlanarak hem kurallara uyulmuş hem de ekonomik denge korunmuştur.

Bu çalışmada, Başaran Gemi Sanayi Tersanesi'nde inşa süreci devam eden MAMATİ HÜSEYİN ve KORKMAZLAR BALIKÇILIK 1 isimli balık avlama gemileri için dümen tasarımı ve yapısal analiz gerçekleştirilmiştir. Tasarımlar, TL kontrolüne sunulup onay aldıktan sonra imal edilmiş ve gemilere montajı yapılmıştır.

Bu çalışma, gemi imalatında geleneksel dümen tasarımlarını ele alarak uluslararası kurallar çerçevesinde iyileştirmeler yapılmasına olanak sağlamış; manevra kabiliyetinin artırılması ve optimum dümen tasarımının sağlanması ile teknik ve ekonomik avantajlar sunmuştur.

1.1. Literatür Taraması

Dümen, geminin manevra kabiliyetini sağlayan kritik bir kontrol yüzeyidir ve hem hidrodinamik hem de yapısal özellikleri, gemi performansını büyük ölçüde etkiler. Tarih boyunca gemi dümenlerinin tasarımında ve yapısal özelliklerinde önemli değişimler yaşanmıştır. Antik çağlardan modern gemi mühendisliğine kadar olan süreçte dümen teknolojisindeki bu gelişmeler, gemi seyrüseferi ve denizcilik teknolojilerinin ilerlemesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu literatür taraması, Antik Yunan ve Roma dönemlerinden başlayarak günümüze kadar olan dümen sistemlerinin yapısal tasarımı ve gelişimini tarihsel bir sırayla ele almakta ve bu alanda yapılmış önemli araştırmaları incelemektedir. Ayrıca, bu literatür taramasında, gemi dümen tasarımı ve yapısal analizi konusundaki önemli çalışmaları kronolojik sırayla ele alınmaktadır. Çalışmalar, dümenlerin hidrodinamik optimizasyonu, yapısal analizler ve modern mühendislik yaklaşımlarını içermektedir.

Antik Yunan ve Roma dönemlerinde kullanılan ilk dümenler, genellikle gemilerin yan taraflarına monte edilen “çeyrek dümenler” idi. Bu tasarım, gemilerin manevra kabiliyetini artırarak, yönlendirmeyi daha hassas hale getirdi. Bu gelişmeler, denizcilikte önemli bir ilerleme sağlamıştır (Mott, 1997).

Mott’un (1991) yılında yayınlanan çalışması, dümene dair tarihsel gelişmeleri ele almakta, dümene ilişkin teknolojik ilerlemeleri ve denizcilikteki önemini kapsamlı bir şekilde analiz etmektedir. Araştırma, dümenin tarihsel evrimine ışık tutmaktadır. Orta Çağ’da Vikingler, kıçtan takılan dümenlerin kullanımını başlatarak denizcilik teknolojisinde önemli bir yeniliğe imza atmıştır. Bu dönemde kıçtan takılan dümenler, gemilerin açık denizlerde daha iyi yönlendirilmesini sağlamıştır. Bu, modern dümen tasarımlarının temelini oluşturmuştur (Mott, 1991).

Mott’un (1997) yılında yayınlanan çalışması, dümene dair tarihsel bir inceleme kitabı olup, teknolojik evrimi ve kullanım amaçlarını anlatmıştır. Dümenin tasarım ve kullanımının gelişimini anlamak açısından değerli bir kaynaktır. Orta Çağ’dan itibaren daha modern bir yapıya kavuşan dümenler, zamanla gemi manevra kabiliyetini artıran daha sofistike sistemlere dönüşmüştür.

Thieme (1965), gemi dümenlerinin tasarımı üzerine yaptığı çalışmada, dümenlerin hidrodinamik özelliklerini ve gemi manevra kabiliyeti üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu çalışma, modern gemi mühendisliğinin temel taşlarını atmıştır.

Mukundan (2002), bu çalışma, bir dümenin sonlu elemanlar yöntemi ile analizini gerçekleştirmiştir. Yapısal dayanıklılığı artırmaya yönelik yapılan bu analiz, mühendislikte dümen tasarımı için önemli bilgiler sağlamaktadır.

Hughes (2003), yayınlanan kitabında, sonlu elemanlar yönteminin hem statik hem de dinamik analizler için kullanımını detaylandırmıştır. Özellikle mühendislik yapılarının dayanıklılığı ve performansı üzerinde yapılan analizler için yöntemler sunulmuştur. Gemi yapılarının ve dümen sistemlerinin analizi, bu yöntemin kullanımını gerektirmektedir.

Nugroho ve diğ. (2020), Orca sınıfı balıkçılık denetim gemisinin dümen sisteminin yapısal analizi yapılmıştır. Bu çalışma, dümen sisteminin dayanıklılığını artırmaya yönelik bir analizdir. Dümen sisteminin yapısal analizi üzerine yaptıkları çalışmada, Sonlu elemanlar analiz (SEY) yöntemini kullanılmıştır. Çalışma, özellikle büyük balıkçı gemilerinde dümen performansını artırmaya yönelik önemli bulgular içermektedir.

Lübke ve Potsdam Model Basin (2009) tarafından yürütülen çalışma, yarı dengeli dümenlerin yapısal ve hidrodinamik özelliklerini incelemiştir. Bu araştırma, yarı dengeli dümenlerin performans özelliklerini ve kullanım alanlarını ele almıştır. Bu tip dümenler, modern gemilerde sıklıkla kullanılan bir tasarım olup, deniz şartlarına karşı daha dayanıklı ve verimli olduğu tespit edilmiştir. Çalışma, gemilerin kontrol kabiliyetlerini artıracak tasarım çözümlerini değerlendirmektedir.

Molland ve Turnock (2011), deniz dümenleri ve kontrol yüzeylerinin tasarım ilkeleri ve uygulamaları üzerine kapsamlı bir kaynak sunmuşlardır. Kitap, gemi manevra performansını artırmak için dümen tasarımına dair veri ve yöntemleri ele almaktadır. Gemilerin yönlendirilmesi ve manevra kabiliyeti üzerine yapılan bu araştırma, modern gemi mühendisliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Kim ve diğ. (2012), Kore'deki büyük tersanelerde yapılan dümen tasarım süreçlerini inceleyerek standart bir dümen tasarım prosedürü için bir öneri sunmuştur. Çalışma, dümen tasarım süreçlerini daha verimli hale getirerek gemi inşasında standartlaşmayı hedefleyen bir çalışmadır.

Liu ve ekibi (2017), dümen hidrodinamiği üzerine yapılan ağ simülasyonlarının doğruluğunu artırmak amacıyla çeşitli modeller geliştirmiştir.

Korbetis ve Georgoulas (2012) tarafından yapılan çalışma, çok amaçlı bir dümen tasarımı optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve 3B modellemeleri yapılmıştır. Çalışma, dümenin performansını artırmak ve tasarım sürecini kolaylaştırmak için yapılmıştır.

Degu (2014), Etiyopya'da kullanılan geleneksel Nigat botunun dümen tasarımı yeniden yapılmıştır. Bu çalışmada mevcut dümenin tasarım eksiklikleri düzeltilerek teknenin manevra kabiliyetini artırmak hedeflenmiştir. Düşük maliyetli ve yerel malzemeler kullanılarak tasarımın optimize edilmesi üzerinde durulmuştur. Çalışma, yerel ihtiyaçlara uygun pratik bir çözüm sunarak, küçük tekneler için ideal bir model ortaya koymuştur.

Liu ve Hekkenberg (2017), gemilerde kullanılan dümen tasarımının altmış yıllık bir incelemesi yapılmıştır. Çalışma, farklı tasarım tercihlerinin dümen performansına etkilerini analiz etmiştir.

Molland (2017), farklı dümen türlerini ve bu dümenlerin çeşitli gemi tiplerindeki uygulamaları hakkında kapsamlı bilgi sunmaktadır. Çalışma, dümenlerin gemilerdeki kullanım verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır. Molland ve Turnock (2021) ise deniz dümenleri, hidrofil ve kontrol yüzeylerinin temel prensipleri, veri ve tasarım yöntemlerini kapsamaktadır. Kitap, denizcilik ve offshore mühendislik için kritik tasarım bilgileri sunmaktadır.

Li Feng ve diğ. (2020) yayınlanan çalışmaları, modern dümen tasarımındaki gelişmeleri ve bu alandaki teknolojik durumu incelemektedir. Bu çalışma, özellikle yüksek performanslı dümenlerin özelliklerini ve bu alandaki yenilikleri ele almaktadır. Çalışma, yeni dümen tasarım trendleri hakkında bilgi sunmaktadır.

Liu ve diğ. (2016), gemi dümen profilinin manevra performansı üzerindeki etkilerini incelemektedir. Bu araştırmalar, profilin geminin yön kontrolü üzerindeki etkilerini analiz ederek, optimal dümen tasarımı konusunda rehberlik sunmaktadır.

Choi ve diğ. (2023), balıkçı gemilerinin manevra performansını iyileştirmek için geminin gövde formu ve dümen şekilleri üzerinde HAD simülasyonlarını kullanarak kapsamlı bir araştırma yapmışlardır. Bu araştırma, modern gemi tasarımı ve performans optimizasyonu açısından önemli bulgular sunmaktadır. Bu analizler, dümen tasarımının gemi manevra performansına etkilerini anlamada önemlidir.

Dümen sistemlerinin tasarımı ve analizi, gemi mühendisliğinin temel taşlarından biridir. Erken dönem çalışmalarından günümüzün yüksek performanslı dümenlerine kadar yapılan araştırmalar hem hidrodinamik hem de yapısal açıdan önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Sonuç olarak, dümen tasarımı, gemilerin manevra kabiliyetini ve enerji verimliliğini artırmak için sürekli olarak gelişmeye devam etmektedir.

1.2. Gemi Dümeninin İşlevleri

Dümen sistemleri gemilerin manevra kabiliyetini ve rota takibini sağlamak için kritik öneme sahiptir. Bir geminin dümeni, rotayı koruma, yönlendirme ve gemiyi dengeleme gibi temel işlevleri yerine getirir. Rüzgâr, su akıntısı ve dalgalar gibi dış kuvvetlere karşı geminin rotada kalmasını sağlamak için dümen kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra dümen, geminin genel dengesine katkıda bulunarak, zorlu deniz koşullarında daha dengeli bir seyir sağlar.

Dümen tasarımı, geminin performansını etkileyen önemli bir mühendislik sürecidir ve bu süreç çeşitli yapısal analizler ve teknik hesaplamalar gerektirir. Geminin türüne ve kullanım amacına göre uygun dümen tipinin seçilmesi, geminin uzun vadeli performansı ve güvenliği açısından son derece önemlidir.

1.3. Dümenin Temel Yapısal Bileşenleri

Geminin yönlendirilmesini sağlayan dümen sistemi, iki temel bileşenden oluşmaktadır: dümen rodu ve dümen yelpazesi.

1.3.1. Dümen Rodu Tanımı

Dümen rodu, dümen yelpazesini geminin gövdesine bağlayan dikey bir şafttır. Rod, dümen mekanizmasının ürettiği torku yelpazeye ileterek gemiyi yönlendirmeye yardımcı olur. Dümen rodu, yapısal dayanım açısından kritik öneme sahiptir, çünkü geminin seyri sırasında büyük kuvvetlere maruz kalır.

1.3.2. Dümen Yelpazesi Tanımı

Dümen yelpazesi, geminin su içerisinde manevra yapmasını sağlayan yüzeydir. Yelpaze, suyun direncini kullanarak geminin yön değiştirmesini sağlar. Yelpazenin şekli, boyutu ve yerleşimi geminin manevra kabiliyetini doğrudan etkiler. İyi tasarlanmış bir yelpaze, dümenin daha az enerji harcayarak daha etkili yönlendirme yapmasını sağlar.

1.4. Dümen Çeşitleri

Dümenler genellikle denge oranına göre kategorilere ayrılır. Denge oranı, dümen dönüş ekseninin veya dümen şaftının önünde bulunan yelpaze alanının, toplam dümen yelpaze alanına oranıdır. Dümen çeşitleri dengesiz dümen, yarı dengeli dümen ve tam dengeli dümen olarak üç ana başlık altına toplanabilir. Bununla beraber dümenler dümen profili, şekli ve birkaç ek özellik bakımından da farklılık gösterirler. Molland ve Turnock, (2011)'den dümen çeşitlerini gösteren görseller alınmış ve yeniden düzenlenerek Şekil 4'te sunulmuştur.

Geminiz için doğru dümen tipini seçmek çok önemlidir. Geminin manevra kabiliyeti dümen profili, büyüklüğü ve modeli ile büyük oranda ilişkilidir. Dümenler sürekli olarak aşırı kuvvetlere maruz kalır. Doğru türde olduğundan emin olmak daha az kavitasyon, daha az durma ve daha uzun bir kullanım ömrü sağlar.

1.4.1. Dengesiz Dümen

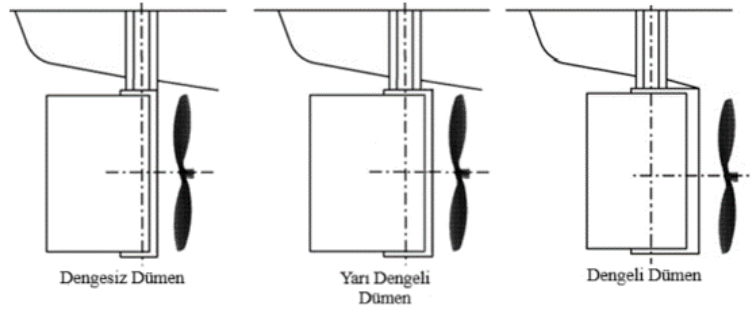
Dengesiz dümenlerde, dümen yelpazesi tamamen dönüş ekseninin arkasında yer alır. Bu tür dümenlerde, tüm manevra torku dümen donanımı tarafından sağlanır, bu da dümen torkunun daha fazla olmasına neden olur. Dengesiz dümenler, modern gemilerde yaygın olarak kullanılmamaktadır çünkü daha fazla enerji tüketirler ve daha az verimlidirler. Şekil 4'te gösterilmiştir.

1.4.2. Yarı Dengeli Dümen

Yarı dengeli dümenlerde, yelpazenin bir kısmı dönüş ekseninin önünde yer alır ve bu alan, suyun dümen üzerindeki kuvvetini dengelemeye yardımcı olur. Dümen yüzeyinin %25'inden azı dönüş ekseninin önünde bulunur. Yarı dengeli dümenler, düşük tork gereksinimi nedeniyle enerji verimliliği sağlar ve dümenin, kuvvet uygulanmadığında kendiliğinden merkez hattına dönme özelliği vardır. Şekil 4'te gösterilmiştir.

1.4.3. Dengeli Dümen

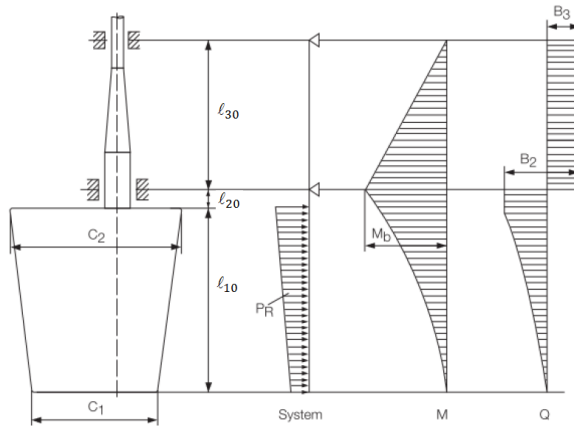
Dengeli dümenlerde, dümen rodu ekseni ile yelpaze ekseni merkezlenmiştir. Yelpazenin yaklaşık üçte biri dönüş ekseninin önünde yer alır ve bu alan, dönüş sırasında denge sağlar. Dengeli dümenler, manevra sırasında daha az tork gerektirir ve bu da enerji tasarrufu sağlar. Bu tip dümenler özellikle yüksek hızlı gemilerde ve büyük gemilerde tercih edilir. Şekil 4’te gösterilmiştir.



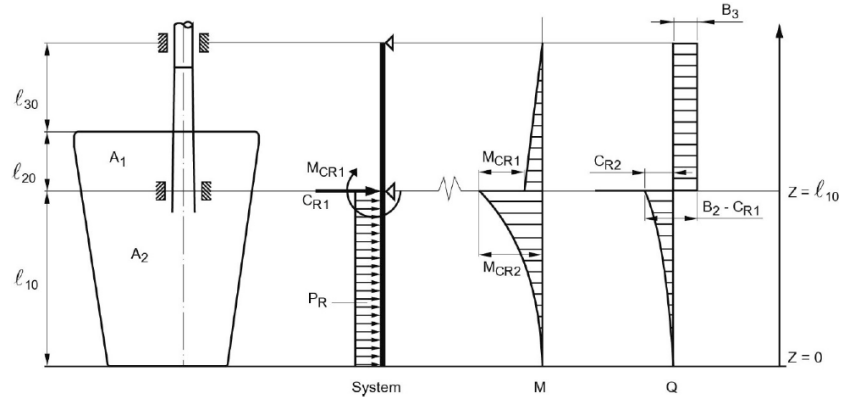
Şekil 4. Dümen çeşitleri

1.5. Türk Loydu’nda Dümen Sınıflandırması

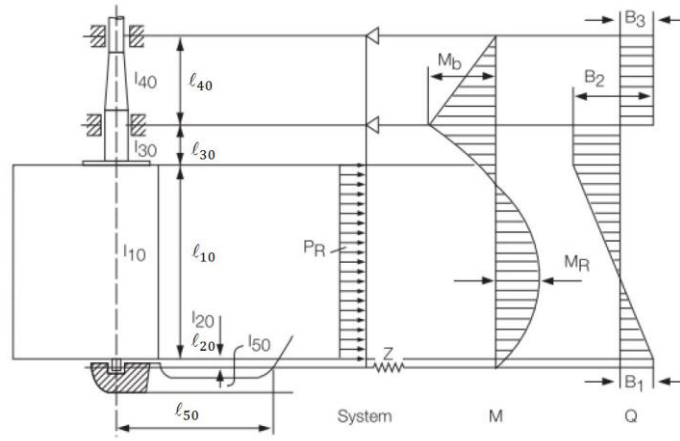
Türk Loydu Kısım 1-Tekne Yapım Kuralları, Bölüm 18, Kısım C’de yer alan dümen çeşitleri Şekil 5-9’da gösterilmiştir.



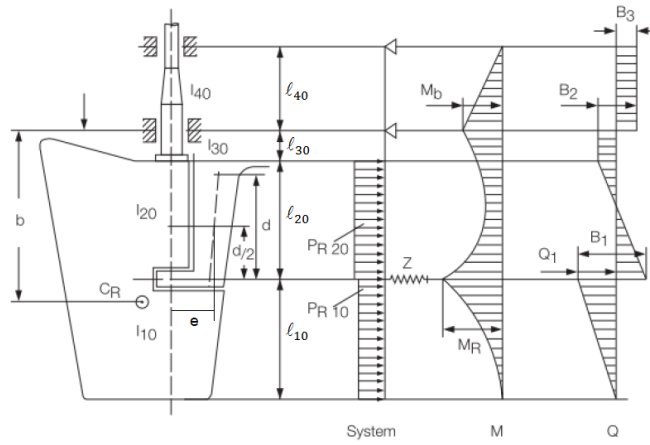
Şekil 5. Askı dümenler



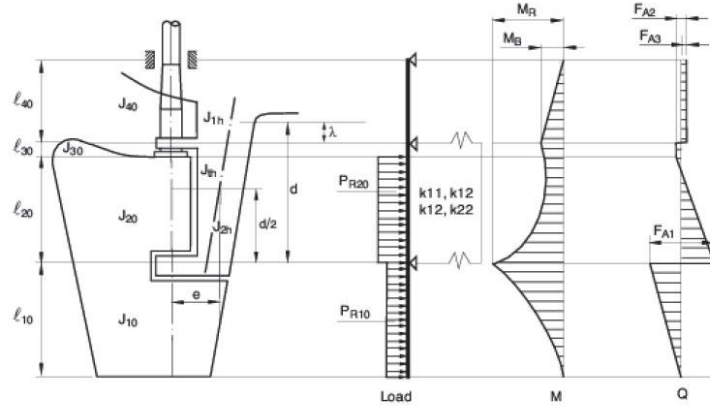
Şekil 6. Kovanlı askı dümenler



Şekil 7. Topuk ile desteklenen dümenler



Şekil 8. Tek elastik destekli yarı askı dümenler



Şekil 9. Karşılıklı iki elastik destekli yarı askı dümenler

1.6. Dümen Tasarım Süreci

Günümüzde dümen tasarımları, uluslararası denizcilik kuralları çerçevesinde yapılmaktadır. Tasarım sürecinde dümen yelpazesi üzerinde oluşan kuvvet ve momentler dikkatlice hesaplanmakta ve bu momentler neticesinde dümen şaftlarının minimum çapı belirlenmektedir. Ayrıca, dümenin kış akımını düzenlemesi ve manevra kabiliyetini artırması hedeflenmektedir. Tasarım sürecinde kullanılan hesaplamalar, ampirik formüller ve deneysel verilerle desteklenmekte ve geminin tipine, hızına ve boyutlarına göre optimize edilmektedir.

Dümen tasarımı, gemi performansını optimize etmek için dikkatli bir mühendislik süreci gerektirir. Tasarım süreci, aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır:

- Mevcut Dümen Sistemlerinin İncelenmesi: Karadeniz’de kullanılan balıkçı gemilerindeki dümen sistemleri ve Türk Loydu dümen tasarımları incelenmiştir.
- Gemi Sahibinin Gereksinimlerinin Belirlenmesi: Tasarımın gemi sahibinin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde yapılandırılması önemlidir.
- Teknik Verilerin Toplanması: Geminin boyutları, hız ve manevra ihtiyaçlarına göre teknik veriler toplanmıştır.
- 3B Modelleme: Dümen tasarımı 3 boyutlu olarak modellenmiştir.
- Klas Kurallarına Göre Hesaplamalar: Türk Loydu klas kuruluşunun belirlediği standartlara uygun hesaplamalar yapılmıştır.

- Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Yapısal Analizler: Tasarımın yapısal dayanıklılığı ve performansı SEY (Sonlu Elemanlar Yöntemi) kullanılarak analiz edilmiştir.
- Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi: Yapılan analizler sonucu tasarım uygunluğu değerlendirilmiştir.
- Dümen Teknik Çiziminin Hazırlanması: Analiz raporları yanında tasarım detayları da çizilip klas onayına sunulmuştur.
- Klas Onayı: Tasarım raporları ve çizimler klas onayına sunulmuş ve onay alınmıştır.
 - Tasarım İncelemesi: Dümen sisteminin teknik çizimleri ve tasarım hesaplamaları gözden geçirilir.
 - Malzeme ve Bileşen Onayı: Kullanılan malzemeler ve bileşenler belirlenen standartlara uygun olmalıdır.
 - Üretim Süreci Denetimi: Üretim süreci ve kalite kontrol prosedürleri incelenir.
 - Test ve Sertifikasyon: Dümen sisteminin performansı ve güvenliği çeşitli testlerle doğrulanır ve sertifikalandırılır.
- Dümenin İmalatının yapılması: Tasarlanan dümenin üretimi klas denetiminde gerçekleştirilmiştir.

Bu yapısal süreç ile, Karadeniz’de kullanılan balıkçı gemilerine uygun, Türk Loydu onaylı ve ihtiyacı karşılayan dümen tasarımlarının geliştirilmesi hedeflenmiştir.

1.6.1. Modern Dümen Tasarım Süreci

Günümüzde dümen tasarımları, uluslararası denizcilik kuralları çerçevesinde yapılmaktadır. Tasarım sürecinde dümen yelpazesi üzerinde oluşan kuvvet ve momentler dikkatlice hesaplanmakta ve bu momentler neticesinde dümen şaftlarının minimum çapları belirlenmektedir. Ayrıca, dümenin kış akımını düzenlemesi ve manevra kabiliyetini artırması hedeflenmektedir. Tasarım sürecinde kullanılan hesaplamalar, ampirik formüller ve deneysel verilerle desteklenmekte ve geminin tipine, hızına ve boyutlarına göre optimize edilmektedir.

Dümen tasarım sürecinde göz önünde bulundurulması gereken genel faktörlerden bazıları, geminin manevra kabiliyeti, performans, pervanelerin sökölüp takılması imkânı, dümen kontrolü için dümen dişli kapasitesi, kavitasyonlarla aşınmanın önlenmesi, şaft

apının seçimi, dümen ağırlığı ve kaldırma kapasitesidir. En önemli noktalarından biri ise müşteri gereksinimlerini karşılaması gerekliliğidir. Dmenden yeterli verimin alınabilmesi için dümen tasarımı yaparken pervane ve dümenin şekli, tipi ve düzeni, geminin amacına, gövde form boyutuna ve beklenen hızına özel olarak dikkat edilmelidir (Degu, 2014).

1.6.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğı (HAD) ile Dümen Tasarımı

Son yıllarda dümen tasarımı üzerine yapılan araştırmalarda, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğı (HAD) yöntemleri kullanılarak sayısal analizler yapılmaktadır. Bu analizler, dümen performansının optimize edilmesinde büyük rol oynamaktadır. Özellikle HAD yöntemleri, dümen üzerindeki kaldırma kuvveti ve hidrodinamik sürükleme kuvvetlerini analiz ederek, dümenin performansını artırmaya yönelik tasarım iyileştirmelerine olanak tanır.

1.7. Türk Loydu Kurallarına Göre Yapılan Hesaplamalar

Günümüzde inşa edilen her gemi, klas kuralları doğrultusunda inşa edilmek zorundadır. Türk Loydu gibi klas kuruluşları, gemi inşa sürecinde kullanılan tekniklerin ve malzemelerin belirli standartlara uygunluğunu denetler ve sertifikalandırır. Özellikle Türk Loydu'nun "Tekne Yapım Kuralları" (Kısım 1, Bölüm 18) dümen sistemleri, bileşenleri ve bunların yapısal gereksinimlerine dair ayrıntılı bilgi sağlar. Yeniçam Tersane Bölgesi'nde inşa edilen balıkçı gemileri, Türk Loydu'nun kurallarına göre tasarlanmakta ve inşa edilmektedir.

Türk Loydu, dümen sistemleri için belirli kriterler ve standartlar belirler. Bu standartlar, dümen sistemlerinin güvenli, dayanıklı ve performanslı olmasını sağlar. Genel olarak, Türk Loydu'nun kriterleri şunlardır:

- **Malzeme Kalitesi:** Dümen sistemlerinde kullanılan malzemelerin yüksek mukavemetli ve korozyona dayanıklı olması gerekmektedir.
- **Tasarım ve Yapısal Dayanıklılık:** Dümen sistemlerinin tasarımı, deniz şartlarına dayanıklı olmalı ve yüksek yapısal dayanıklılık sağlamalıdır.
- **Performans Testleri:** Dümen sistemleri, çeşitli performans testlerinden geçerek güvenilirlik ve doğruluk açısından değerlendirilir.

- Güvenlik Önlemleri: Dümen sistemlerinin arıza durumunda güvenli bir şekilde çalışmaya devam edebilmesi için gerekli güvenlik önlemlerinin alınmış olması gerekmektedir.
- Uluslararası Standartlara Uygunluk: Türk Loydu, uluslararası denizcilik standartlarına (örneğin, ISO, IMO, SOLAS) uygun dümen sistemlerini onaylar.

Bu kısımda hesaplamalarda kullanılan formüller ve formüllerde geçen değişkenlerin nasıl elde edildikleri gösterilmektedir.

1.7.1. Dümen Kuvveti Hesabı

Türk Loydu Kısım 1-Tekne Yapım Kuralları, Bölüm 18, Kısım B.1.1.'de yer alan dümen kuvveti formülü (1) kullanılmıştır.

$$C_R = 132 \cdot A \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot v^2 \quad [N] \quad (1)$$

C_R = Dümen kuvveti, $[N]$

k_1 = Kenar oranına (Λ) bağlı katsayı, $k_1 = (\Lambda + 2)/3$ veya maksimum 2 alınacaktır.

k_2 = Dümen tipine ve dümen yelpaze profili tipine bağlı katsayı

k_3 = Dümen yelpazesinin konumuna bağlı katsayı

Λ = Dümen yelpazesinin A_t alanına ilişkin kenar oranı, $\Lambda = b^2/A_t$

b = Dümen yelpaze alanının ortalama yüksekliği, $[m]$

A = Dümen yelpaze alanı, $[m^2]$

v = Gemi hızı, $[kn]$

A_t = b yüksekliğinde Dümen yelpaze alanı, A ve eğer varsa dümen bodoslaması ya da dümen boynuzu alanı toplamı, $[m^2]$

1.7.2. Dümen Yelpaze Alanı Hesabı

Yeterli manevra olanağı sağlamak için, hareket edebilen dümen yelpaze alanının aşağıdaki formüle göre belirlenmesi tavsiye edilir. Türk Loydu Kısım 1-Tekne Yapım Kuralları, Bölüm 18, Kısım A.3.'te yer alan dümen yelpaze alanı formülü (2) kullanılmıştır.

$$A = c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4 \frac{1,75 \cdot L \cdot T}{100} [m^2] \quad (2)$$

Birden fazla dümen varsa, her bir dümen alanı %20 azaltılabilir.

A = Dümen yelpaze alanı, $[m^2]$

c_1 = Gemi tipine bağlı faktör

c_2 = Dümen tipine bağlı faktör

c_3 = Dümen profiline bağlı faktör

L = Geminin dikmeler arası boyu, $[m]$

T = Draft, $[m]$

1.7.3. Dümen Burulma Momenti Hesabı

Türk Loydu Kısım 1-Tekne Yapım Kuralları, Bölüm 18, Kısım B.1.2.'de yer alan dümen burulma momenti formülü (3) kullanılmıştır.

$$Q_R = C_R \cdot r [N \cdot m] \quad (3)$$

C_R = Dümen kuvveti, $[N]$

r = Dümen kuvveti moment kolu mesafesi, $[m]$, $r = c(\alpha - k_b) [m]$

c = Dümen yelpazesi alanının ortalama genişliği, $[m]$

k_b = Balans faktörü, $k_b = A_f / A$

A_f = Dümen şaftı ekseninin baş tarafında yer alan, dümen yelpazesi bölümünün alanı, $[m^2]$

1.7.4. Dümen Rod Çapı Hesabı

Dümen yelpazesi üzerinde meydana gelen kuvvet ve momentler hesaplandıktan sonra bu momentler neticesinde yelpazenin gemi ile bağlantısını sağlayan şaftın minimum çapı hesaplanmaktadır.

Türk Loydu Kısım 1-Tekne Yapım Kuralları, Bölüm 18, Kısım C.1.1.'de yer alan dümen rodu çapı formülü (4) kullanılmıştır.

$$D_t = 4,2\sqrt[3]{Q_R \cdot k_r} [mm] \quad (4)$$

D_t = Dümen rodu çapı, [mm]

Q_R = Dümen burulma momenti, [N.m]

k_r = Kullanılan şaft malzemesine ait malzeme faktörü. Malzeme faktörü aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Türk Loydu Kısım 1-Tekne Yapım Kuralları, Bölüm 18, Kısım A.4.5.'te yer alan malzeme faktörü formülleri (5), (6) kullanılmıştır.

$$k_r = \left[\frac{235}{R_{eH}} \right]^{0,75} \quad R_{eH} > 235 \text{ N/mm}^2 \quad (5)$$

$$k_r = \frac{235}{R_{eH}} \quad R_{eH} \leq 235 \text{ N/mm}^2 \quad (6)$$

R_{eH} = Malzemeye ait minimum akma sınırı üst anma değeri

1.7.5. Dümen Kalınlığı Hesabı

Türk Loydu Kısım 1-Tekne Yapım Kuralları, Bölüm 18, Kısım E.2.6.2'de yer alan kanat kalınlığı formülü (7) kullanılmıştır.

$$t_b = 1,5 \cdot s \cdot v \cdot \sqrt{k} + 2,5 [mm] \quad (7)$$

s = Federler arası boy, [m]

v = Gemi hızı, [kn]

k = Malzeme faktörü

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Karadeniz tipi balıkçı teknesi üreten Trabzon Yeniçam tersane sahası işletmelerinde üretilen 24 m ve üzeri tam boya sahip balık avlama ve balık nakliye gemilerinde, klas kuruluşlarının kural kitapçıklarındaki direktifler doğrultusunda talep ettikleri dümen rod ve dümen yelpaze tasarımlarından farklı olarak, özellikle balık avlama gemisi sahibi müşterilerinin talepleri doğrultusunda tasarladıkları topuklu tip dümenler kullanılmaktadır. Topuklu dümenler omurga ve gövde ile yapısal olarak bütün gibidir. Bu durum dümeni sığ kıyılarda ya da kayalıklı bölgelerde çarpmalara karşı daha korunaklı hale getirmektedir. Klas kuruluşu direktifleri dışında kullanılan bu yeni tasarımın onay alabilmesi için özellikle yelpazenin yüzeyinin normali doğrultusunda etki eden dümen kuvveti ve dümen roduna etki eden burulma momenti altında yapısal olarak dayanımının, doğrudan hesaplama ve analiz yöntemleri (Sonlu Elemanlar Yöntemi vb.) kullanılarak global ve lokal deformasyon ve gerilmelerin belirlenmesi ve kontrol edilmesi suretiyle kanıtlanması gerekmektedir.

Bu bağlamda, tez kapsamında Türk Loydu klas kuruluşunun 2023 Ocak ayı yayınlı “Kısım-1-Tekne-Yapım-Kuralları” ve 2001 yılı yayınlı “Balıkçı Gemileri” direktiflerinin Dümen ve Manevra Donanımı kısımlarında belirtilen düşey sürekli dolu mil merkezli yelpaze modelinden başlayarak, en son Türk Loydu tarafından onaylanan tasarıma kadar 8 farklı yelpaze modelinin, farklı analiz parametreleri kullanılarak Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) kullanılan Ansys programında doğrusal statik yapısal analizleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

2.1. Geliştirilen Model-1 (DMN-1)

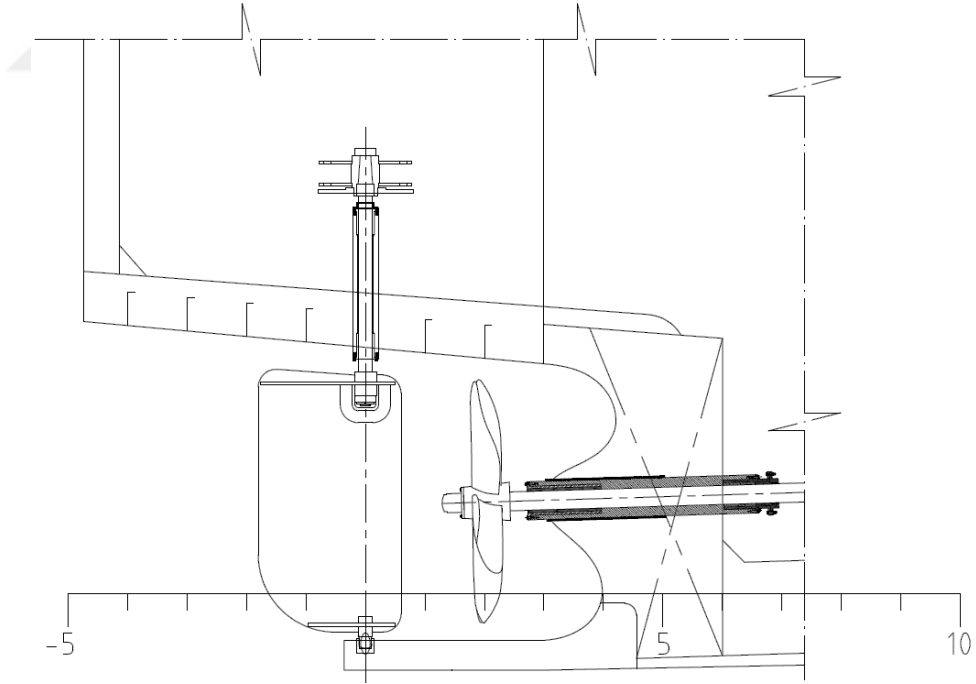
İlk yaklaşım olarak Sonlu Elemanlar Analizi için rod, kovan, göbek, yelpaze, iğnecik ve topuk kısımları 3B katı model şeklinde, kalınlıkları ile birlikte “Solid” elemanlar ile modellenmiştir. Bunun yanında, topuk ile desteklenen bu tip bir dümendeki yük, eğilme moment ve kesme kuvveti dağılımını elde etmek için kiriş eleman modellemesi de yapılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Yükleme modeli olarak, dümen yelpazesinin yüzey normali yönünde “Dümen Kuvveti” ve dümen roduna uygulanan ve dümen kuvveti yönünde dönme etkisi yaratan “Dümen Burulma Momenti” uygulanmıştır. Sınır şartı olarak, topuk bitimi ankastre mesnet uygulanmıştır. Ayrıca, rodun üst kısmı, göbek ve iğnecik gibi birleşim

kısımlarında “Joint” tipi temas uygulanmıştır. Birbirine temas eden diğer parçalarda “Contact-Target” tipi temaslar uygulanmıştır.

Bu kısımdaki analizler öncelikle mevcut üretilmiş bir balıkçı teknesinin 240 x 120 cm boyuttaki dümen yelpazesi ve bağlantısı rod-iğnecik elemanlarının tasarımı için yapılmıştır. Bu modelde, firmanın ilk tasarımında göbek ve iğnecik üzerine yarım olarak eklediği enine destek elemanı federler, Türk Loydu’nun da yapısal gerekleri doğrultusunda, en boyunca uçtan uca uzatılmıştır. Ayrıca, bir gemide, merkez hattında 1 adet ve iskele-sancak taraflarında eş 2 adet dümen kullanıldığı düşünüldüğünde her bir dümen yelpaze boyutu için çapları sabit, uzunlukları farklı rod-kovan bağlantılarının kullanıldığı 2 model de analiz edilmiş ve sonuçlar limitlerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

2.1.1. Dümen Sistemi Ön Dizayn Hesapları ve Ana Boyutları

Dümen sistemi tekne kıç bağlantısı için örnek bir genel yerleşim planından alınmış kesiti aşağıdaki Şekil 10’da gösterilmiştir.



Şekil 10. Tekne-dümen bağlantısı genel görünümü

Dümen sistem bileşenleri ve kullanılan malzeme özellikleri ise aşağıda Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Dümen sistemi bileşenleri ve malzeme özellikleri

No	İsim	Malzeme												
1	Dümen Rodu	Paslanmaz Çelik 304												
2	Üst Yatak	Bronz												
3	Kovan	A Grade Gemi İnşa Çeliği												
4	Alt Yatak	Bronz												
5	Kama	Paslanmaz Çelik 304												
6	Feder	A Grade Gemi İnşa Çeliği												
7	Göbek	Paslanmaz Çelik 304												
8	Somun	Paslanmaz Çelik 304												
9	Dablin	A Grade Gemi İnşa Çeliği												
10	Dümen Yelpazesi	A Grade Gemi İnşa Çeliği												
11	İğnecik	Paslanmaz Çelik 304												
12	İğnecik Yatağı	Paslanmaz Çelik 304												
13	Cıvata	Paslanmaz												
14	Salmastra Kutusu	Paslanmaz Çelik 304												
15	Taşıyıcı Sehpa	A Grade Gemi İnşa Çeliği												
<table> <tr> <th>(MPa)</th><th>Akma Gerilmesi (MPa)</th><th>Çekme Gerilmesi</th></tr> <tr> <td>Paslanmaz Çelik 304</td><td>210</td><td>510</td></tr> <tr> <td>Gemi İnşa Çeliği</td><td>235</td><td>460</td></tr> <tr> <td>İzin Verilebilir Gerilme</td><td>120</td><td></td></tr> </table>	(MPa)	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi	Paslanmaz Çelik 304	210	510	Gemi İnşa Çeliği	235	460	İzin Verilebilir Gerilme	120			
(MPa)	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi												
Paslanmaz Çelik 304	210	510												
Gemi İnşa Çeliği	235	460												
İzin Verilebilir Gerilme	120													

2.1.2. Türk Loydu Dümen Kuvveti ve Dümen Burulması Hesabı

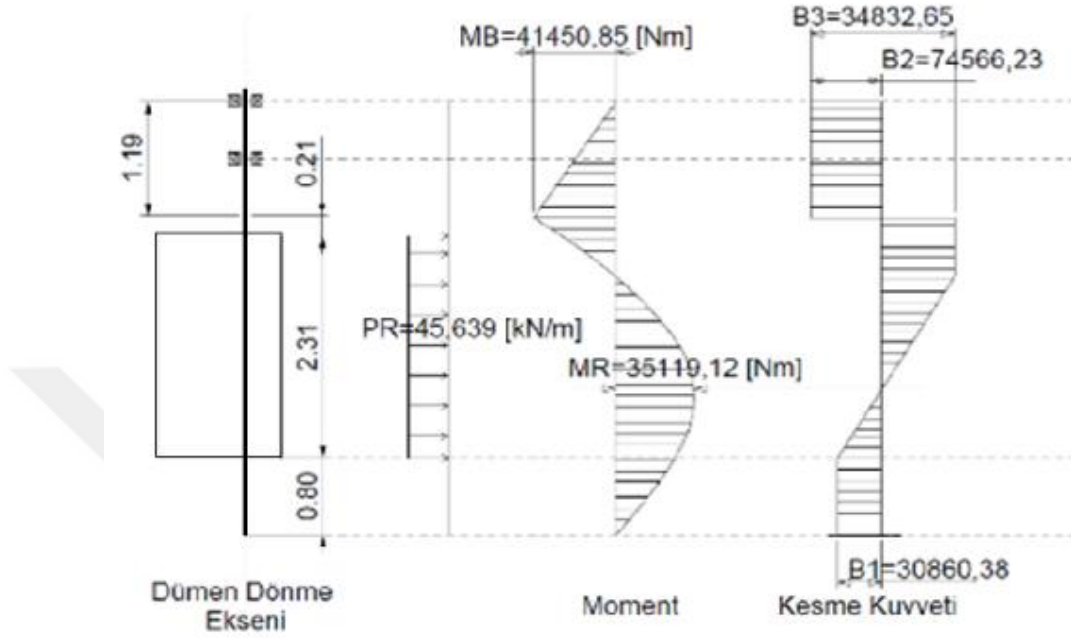
Türk Loydu kural kitabında dümen ve donanımlarının tasarımı ve boyutlandırması için kullanılacak dümen yelpaze kuvveti ve dümen rodu burulma momenti ve bunlara bağlı minimum rod çapı ve yelpaze kalınlığı hesabı Tablo 2’de aşağıda sunulmuştur. Burulma momentinin elde edildiği örnek bir hesaplama da aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 2. Minimum rod çapı ve yelpaze kalınlığı hesabı

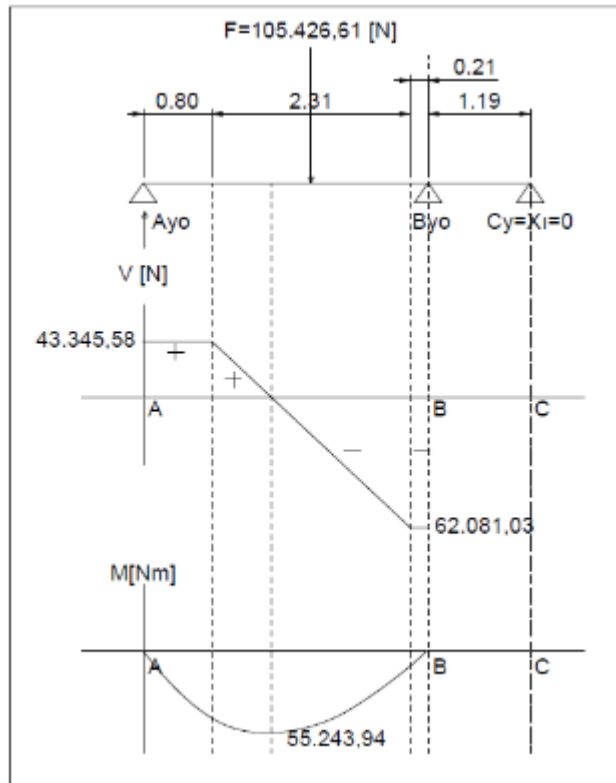
Formül-Değer	Açıklama	Sonuç	Birim
$k_1=(\Lambda+2)/3$	Dümen yelpazesi kenar oranına bağlı katsayı	1,33	
$\Lambda=b^2/A_t$	Kenar oranı	2,00	
b	Dümen yelpazesinin alanın ortalama yüksekliği	2,40	[m]
c	Dümen yelpazesi alanının ortalama genişliği	1,20	[m]
A_t	A+Dümen boynuzu alanı varsa	2,88	[m ²]
k_2	Dümen tipine ve dümen yelpazesine göre katsayı	1,00	
k_3	Dümen yelpazesinin konumuna göre katsayı	1,00	
Sabit değer	Sabit değer	132,00	
A	Dümen yelpazesinin alanı	2,8800	[m ²]
V_0	Gemi hızı	16,00	[knot]
$C_R= 132*A*k_1*k_2*k_3 V_0^2$	Dümen kuvveti	129761,28	[N]
$r= c(a-k_b)$	Dümen kuvveti moment kolu mesafesi	0,096	[m]
c	Dümen yelpazesi alanının ortalama genişliği	1,20	[m]
a	İleri hareket için katsayı	0,33	
a	Tornistan hareketi için katsayı	0,66	
$k_b=A_f/A$	Balans faktörü	0,25	
A_f	Dümen şaft ekseninin baş tarafında yer alan yelpaze alanı	0,72	[m ²]
A	Dümen yelpazesinin alanı	2,88	[m ²]
$Q_R=C_R*r$	Dümen burulma momenti	12457,08	[Nm]
Dümen Rodu Çapı ve Dümen Yelpazesi Kalınlığı			
$D_{\min}=4,2*(Q_R*k_r)^{-3}$	Hesaplanan dümen rodu çapı	97,36	[mm]
k_r	Malzeme faktörü	1,00	[N/mm ²]
D_t	Kullanılan dümen rodu çapı	120,00	mm
s	Federler arası mesafe	1	[m]
$T_b=1,5*s*V*(k)^{0,5+2,5}$	Hesaplanan dümen yelpaze kalınlığı	26,5	[mm]
T_b	Kullanılan dümen yelpaze kalınlığı	32	[mm]

2.1.3. Dümen Rodu Burulma Momenti Hesabı

Elle yapılan dümen rod burulma moment hesabı Şekil 11-16'da gösterilmiştir.



Şekil 11. Dümende y k, eğilme moment ve kesme kuvveti dağlımı



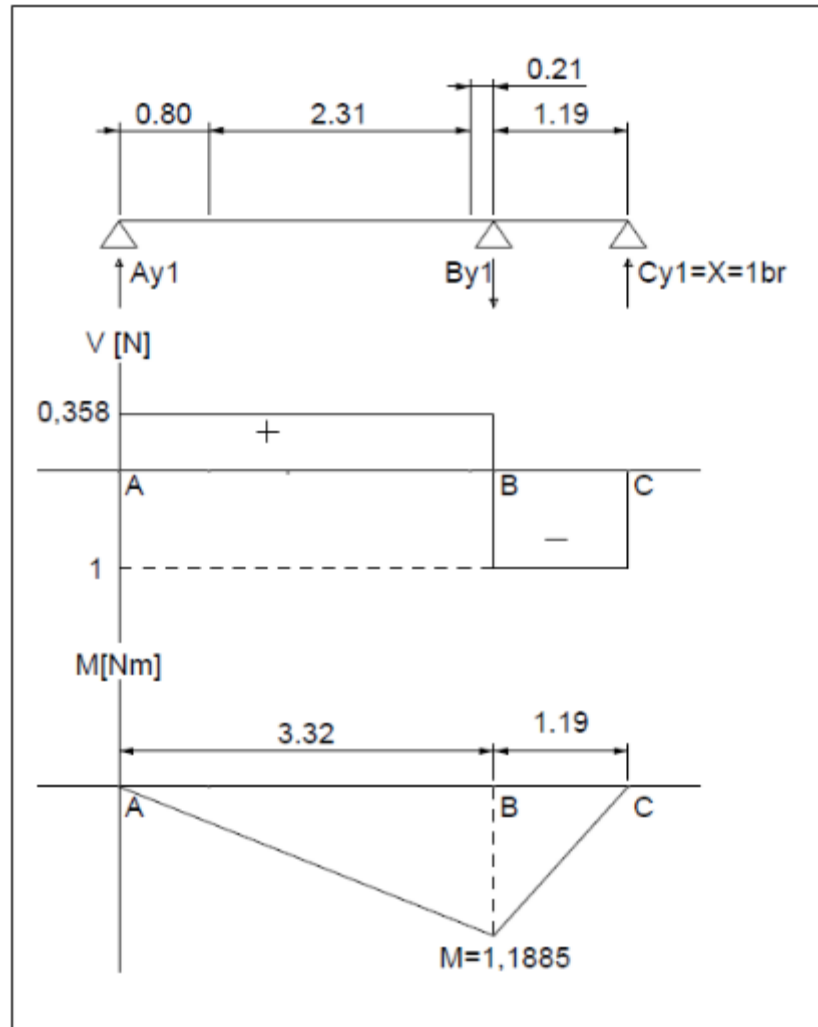
Şekil 12. Grafik 1

$$\Sigma F_y = 0$$

$$+\uparrow \Sigma M_A = 0 \Rightarrow B_{y0} \times (3,32) = (10.546,61) \times (1,955)$$

$$B_{y0} = 62.081,03 \text{ [N]}$$

$$A_{y0} = 43.345,58 \text{ [N]}$$



Şekil 13. Grafik 2

$$\Sigma F_y = 0$$

$$+\uparrow \Sigma M_A = 0 \Rightarrow (1 \text{ br}) \times (4,5) - B_{y1} \times (3,32) = 0$$

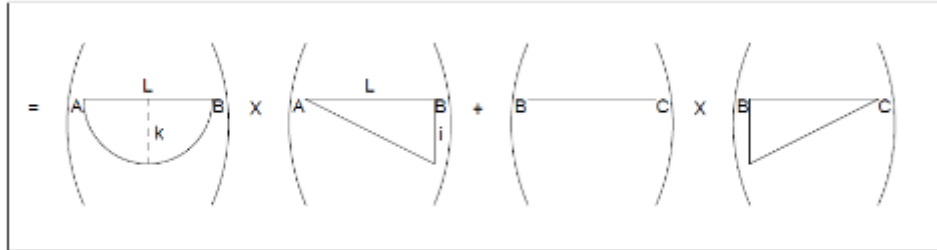
$$B_{y1} = 1,358 \text{ [N]}$$

$$A_{y1} = 0,358 \text{ [N]}$$

Süreklilik Denklemi:

$$EI\delta_{10} + EI\delta_{11}X = 0 \quad (8)$$

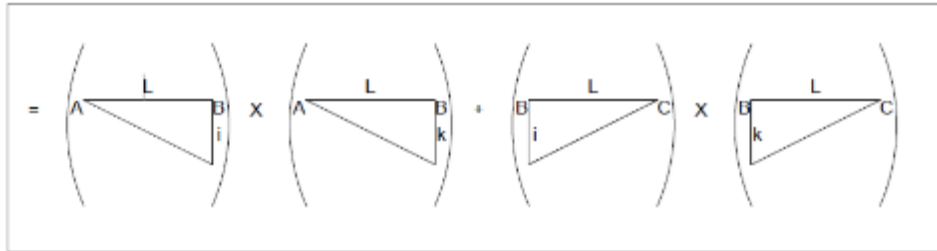
$$EI\delta_{10} = \int M_0 M_1 d_s$$



Şekil 14. Hesaplama 1

$$\frac{1}{3}(\text{Lik}) = \frac{1}{3} \times (3,32) \times (1,1885) \times (55.243,94) + 0 = 72.660,90$$

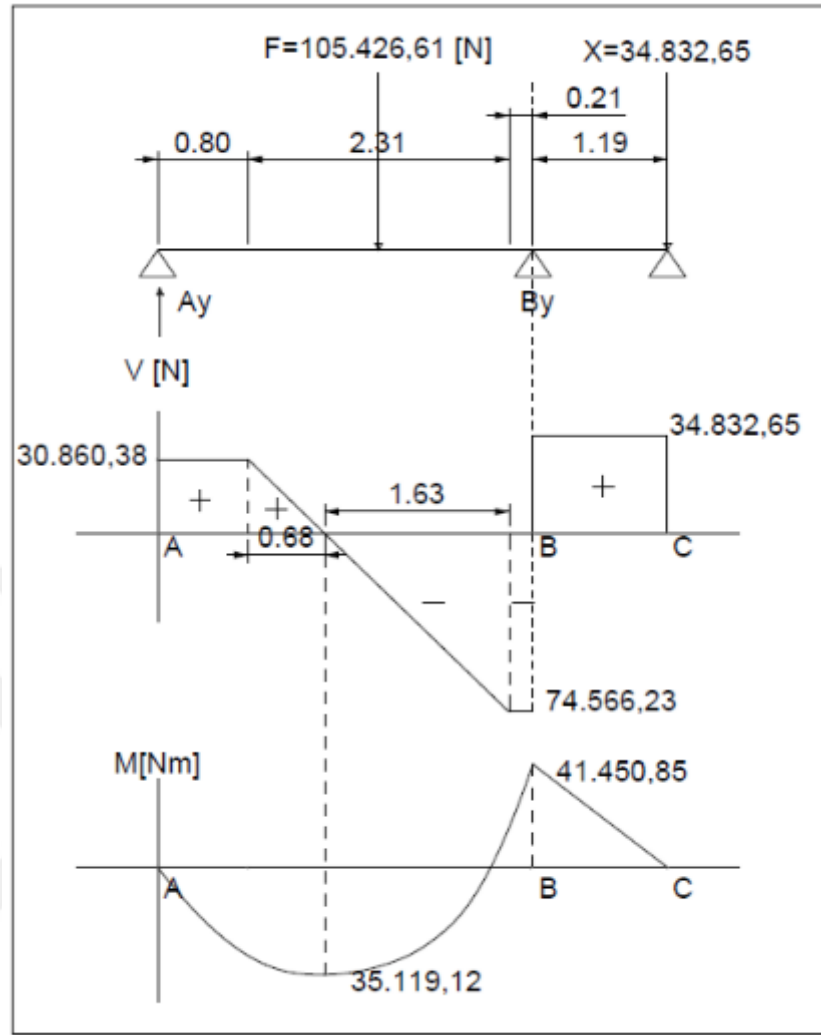
$$EI\delta_{11} = \int M_1 M d_s$$



Şekil 15. Hesaplama 2

$$= \frac{1}{3} \times (3,32) \times (1,1885) \times (1,1885) + \frac{1}{3} \times (1,19) \times (1,1885) \times (1885) = 2,086$$

$$X = -34.832,65 \text{ N}$$



Şekil 16. Grafik 3

$$\Sigma F_y = 0$$

$$+\uparrow \Sigma M_A = 0 \Rightarrow (-105.426,61) \times (1,955) - (34.832,64) \times (4,51) + B_y \times (3,32) = 0$$

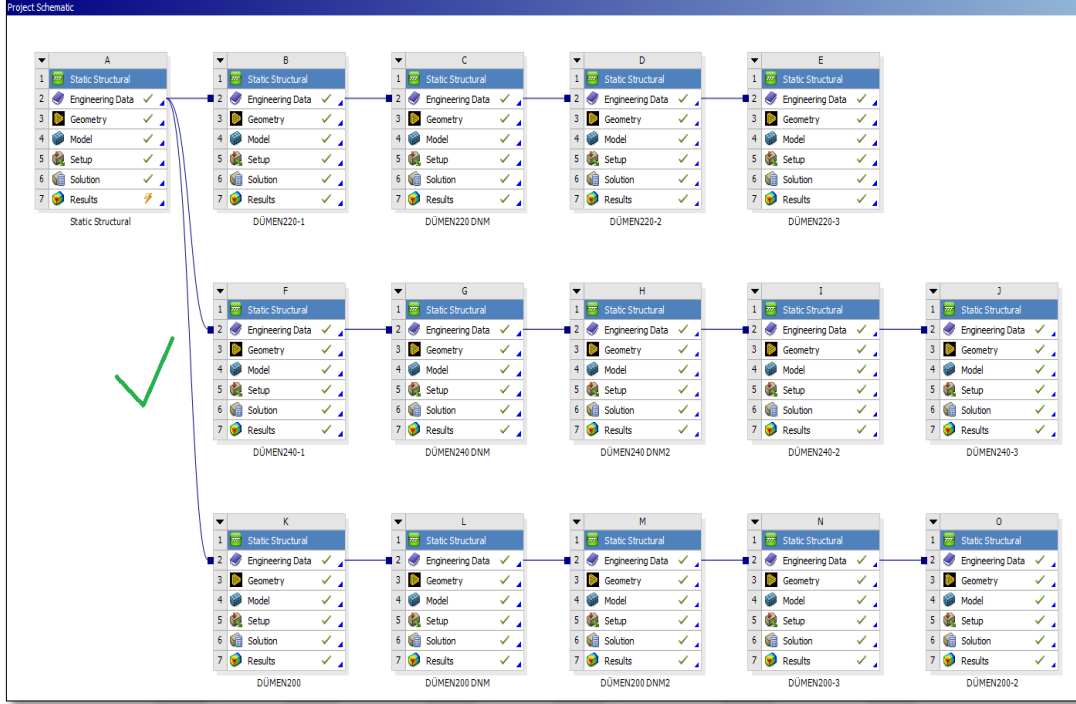
$$B_y = 109.398,88 \text{ [N]}$$

$$A_y = 308.60,38 \text{ [N]}$$

Hesaplamalar sonucunda DMN240 model dümenin analiz edilen boyutları aşağıdaki Tablo 3'te verilmiştir.

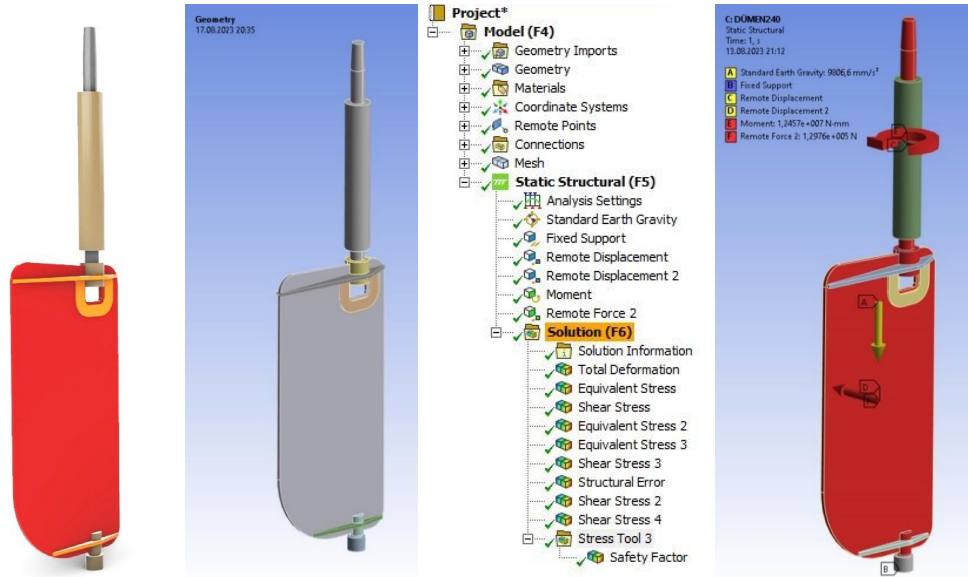
Buna göre, analiz için hazırlanan modeller aşağıdaki Şekil 17'de gösterilmiştir.

Ansyes arayüzünün ana sayfasında her bir model için oluşturulan akış şeması Şekil 18’de gösterilmiştir.

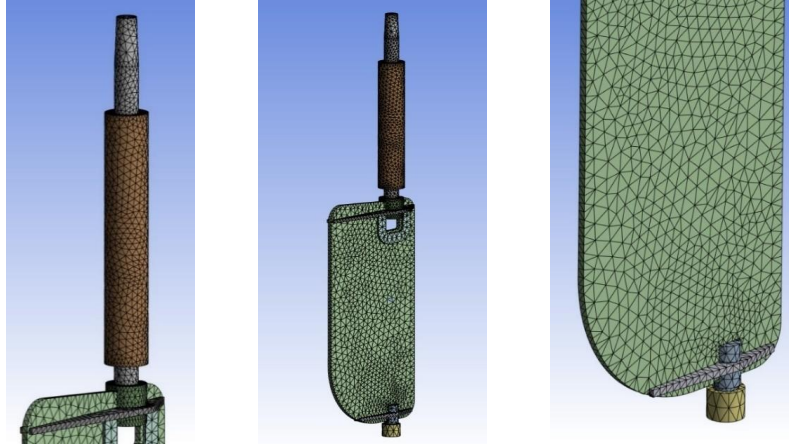


Şekil 18. Ansyes arayüz ana sayfa çözüm dosyaları

Analiz ön ayarları Şekil 19’da ve modelin mesh (ağ örgüsü) atanmış hali Şekil 20’de verilmiştir.



Şekil 19. Analiz 3D ve Ansyes modeli, sınır şartları ve yükleme ayarları

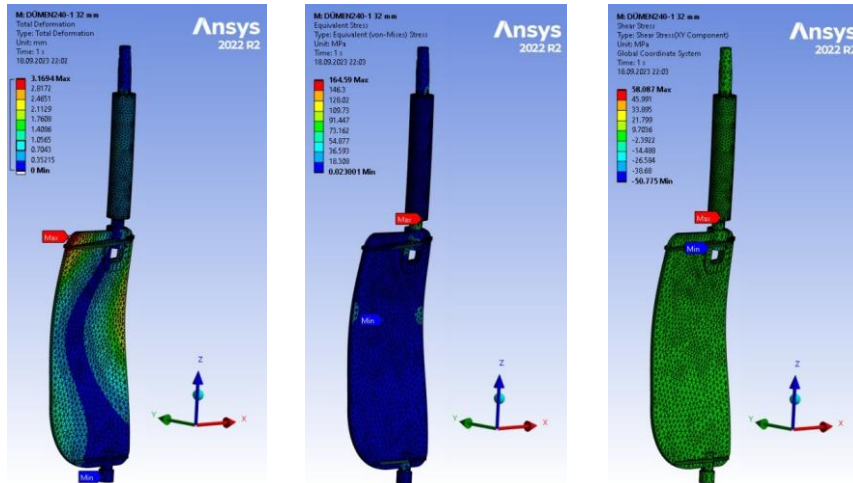


Şekil 20. Ağ yapısı atanmış model (mesh)

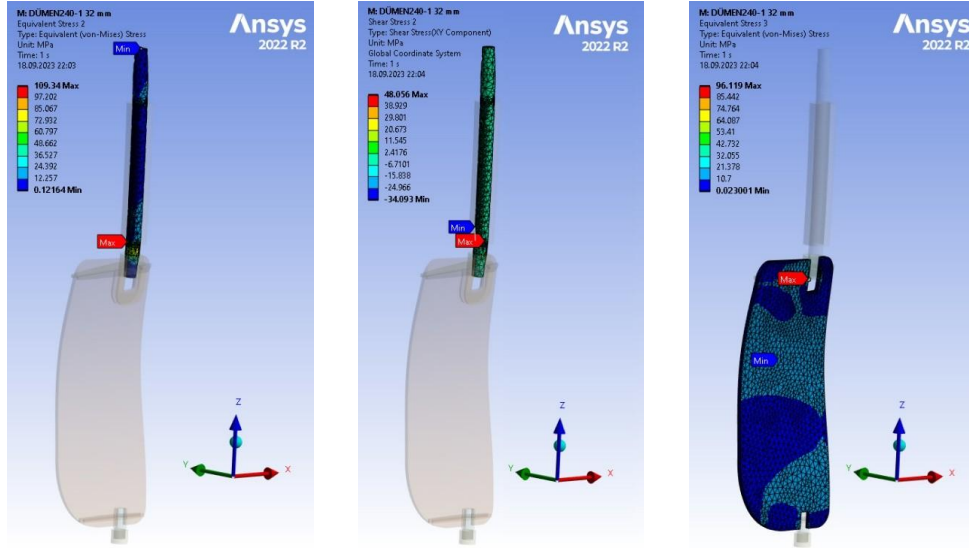
- 3B Katı Model SEY Analizleri

Yelpaze boyutları sabit, dümen rod ve kovan uzunlukları farklı üç model için sonuçlar önce şekillerle daha sonra da limit değerler ile karşılaştırmalı olacak şekilde tablo biçiminde, tüm model için toplam deformasyon, von-Mises eşdeğer gerilmesi ($\sigma_{\text{mod-eqv}}$), tüm model kayma gerilmesi (τ_{mod}), rod için von-Mises eşdeğer gerilmesi ($\sigma_{\text{rod-eqv}}$), yelpaze için von-Mises eşdeğer gerilmesi ($\sigma_{\text{ypl-eqv}}$), yelpaze için kayma gerilmesi (τ_{ypl}) ve tüm model için güvenlik faktörü ve yapısal hata dağılım değerleri Şekil 21-23, Şekil 24-26 ve Şekil 27-29'da, ayrıca karşılaştırmalı gerilme değeri sonuçları Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da sunulmuştur.

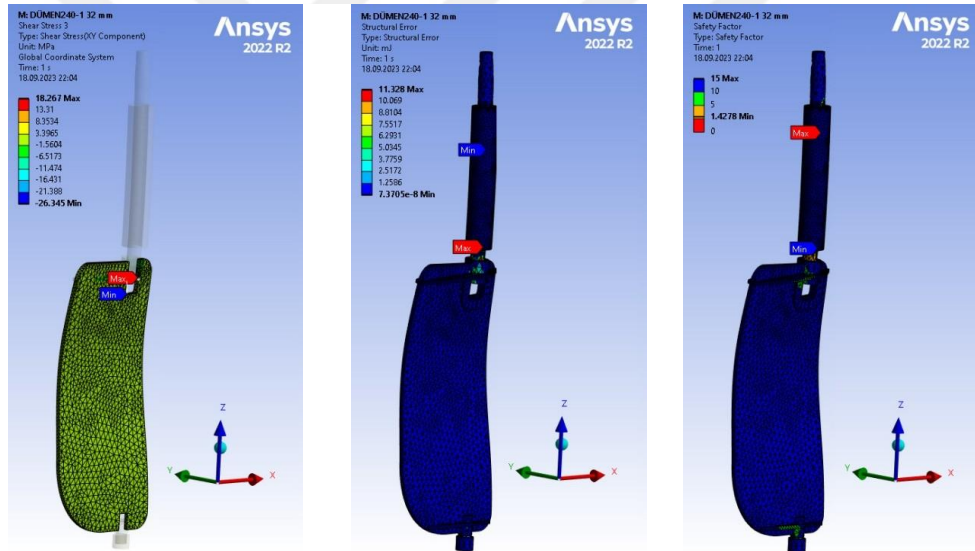
- Model DMN240-1



Şekil 21. Toplam deformasyon, von-Mises eşdeğer gerilmesi ve kayma gerilmesi dağılımı



Şekil 22. Rod eşdeğer gerilmesi ve kayma gerilmesi ile yelpaze eşdeğer gerilmesi dağılımı

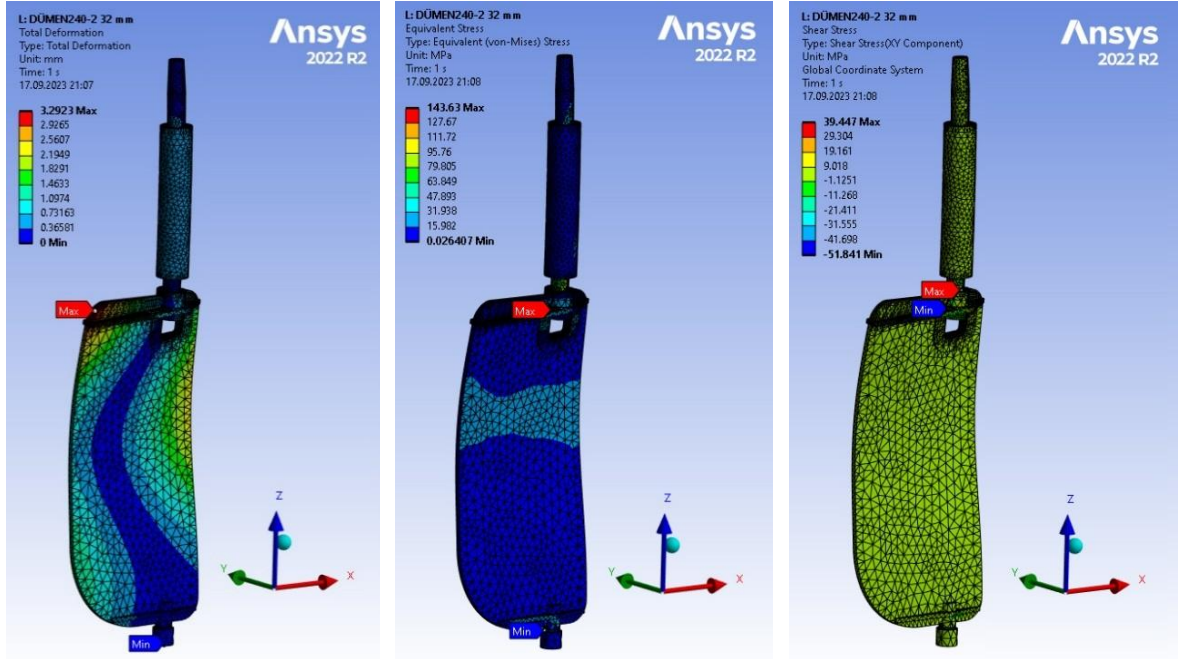


Şekil 23. Yelpaze kayma gerilmesi, model emniyet faktörü ve yapısal hata dağılımı

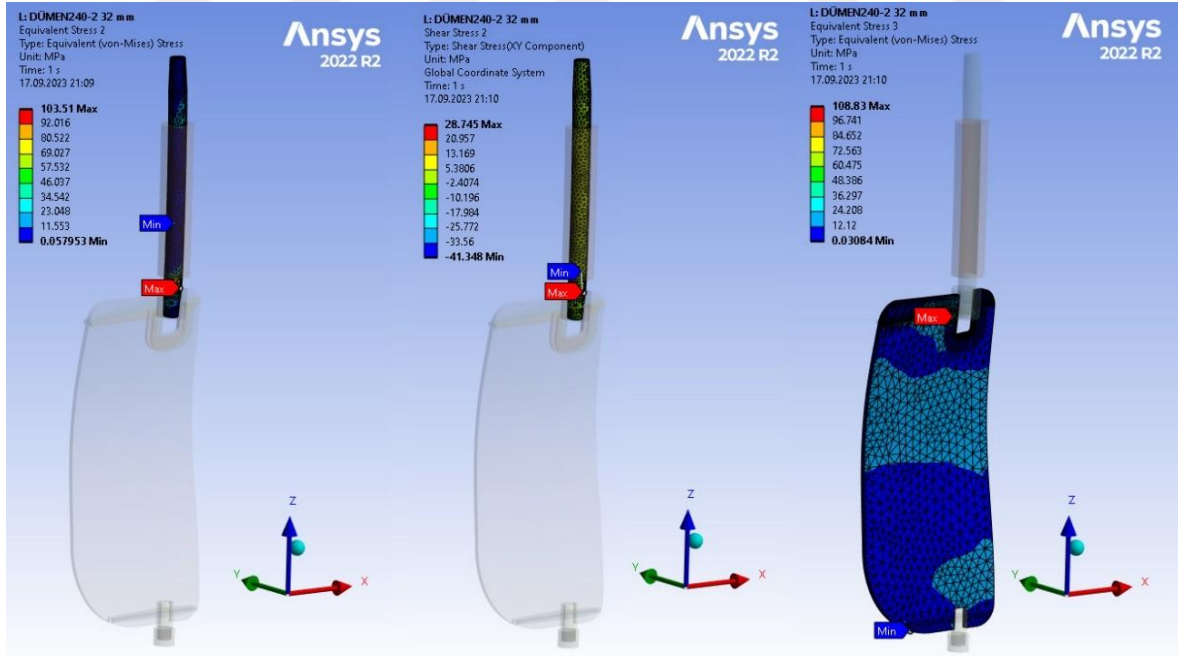
Tablo 4. Karşılaştırmalı gerilme değeri sonuçları

	Hesaplanan Değerler (MPa)		Limit Değerleri (MPa)			Uygunluk Durumu
	Max. von-Mises Eşdeğer Gerilmesi	Max. Kayma Gerilmesi	Malzeme Akma Gerilmesi	Türk Loydu Eşdeğer Gerilme Limiti	Türk Loydu Kayma Gerilmesi Limiti	
Tüm Model	164,590	58,087	235/210	235/210	235/210	Uygun
Rod	109,340	48,056	210	120	50	Uygun
Yelpaze	96,119	18,267	235	120	50	Uygun

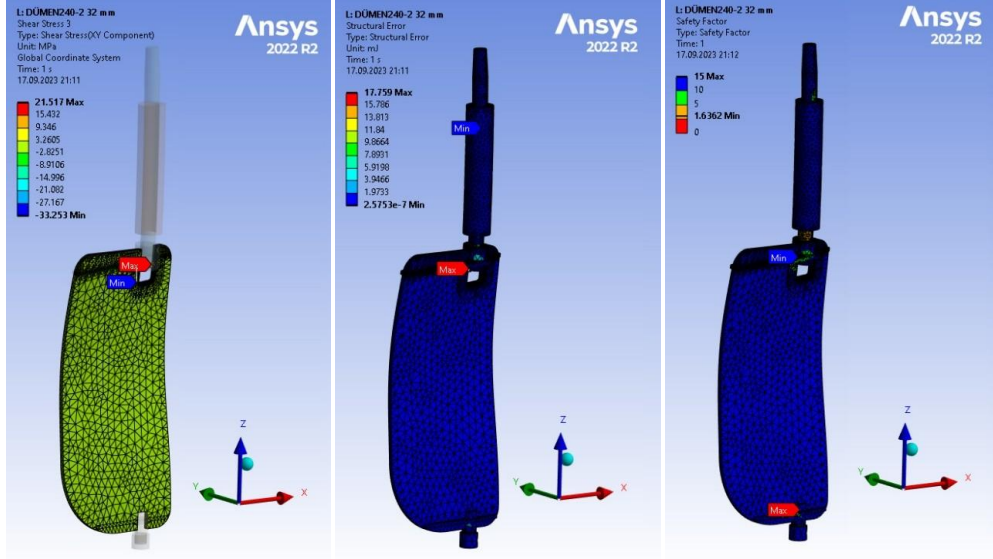
- Model DMN240-2



Şekil 24. Toplam deformasyon, von-Mises eşdeğer gerilmesi ve kayma gerilmesi dağılımı



Şekil 25. Rod eşdeğer gerilmesi ve kayma gerilmesi ile yelpaze eşdeğer gerilmesi dağılımı

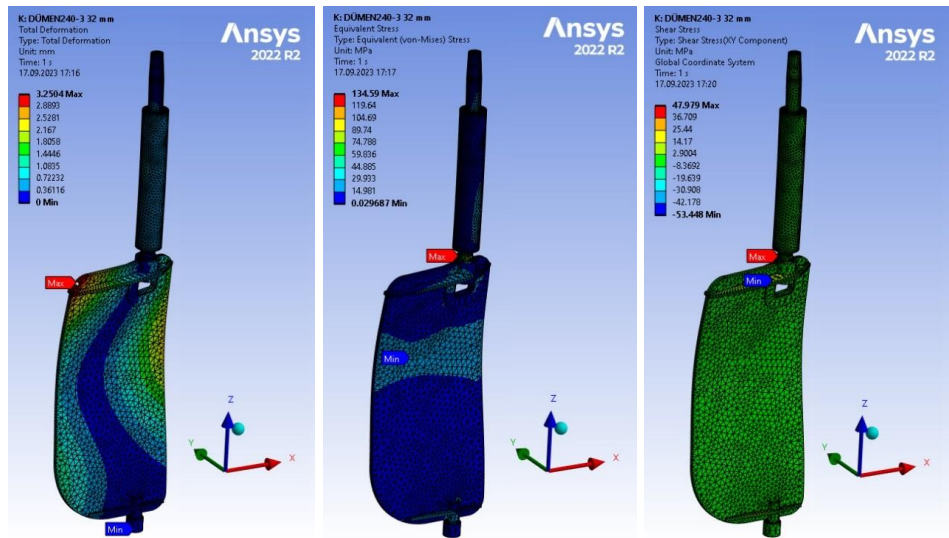


Şekil 26. Yelpaze kayma gerilmesi, model emniyet faktörü ve yapısal hata dağılımı

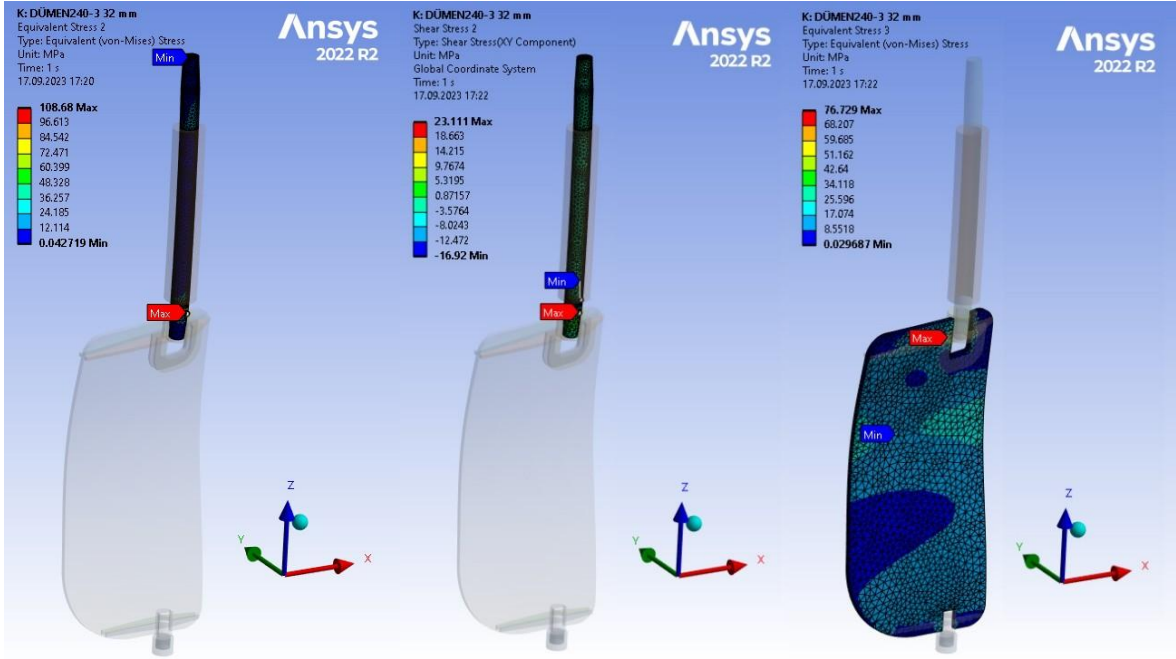
Tablo 5. Karşılaştırmalı gerilme değeri sonuçları

	Hesaplanan Değerler (MPa)		Limit Değerleri (MPa)			Uygunluk Durumu
	Max. von-Mises Eşdeğer Gerilmesi	Max. Kayma Gerilmesi	Malzeme Akma Gerilmesi	Türk Loydu Eşdeğer Gerilme Limiti	Türk Loydu Kayma Gerilmesi Limiti	
Tüm Model	143,630	39,447	235/210	235/210	235/210	Uygun
Rod	103,510	28,745	210	120	50	Uygun
Yelpaze	108,830	21,517	235	120	50	Uygun

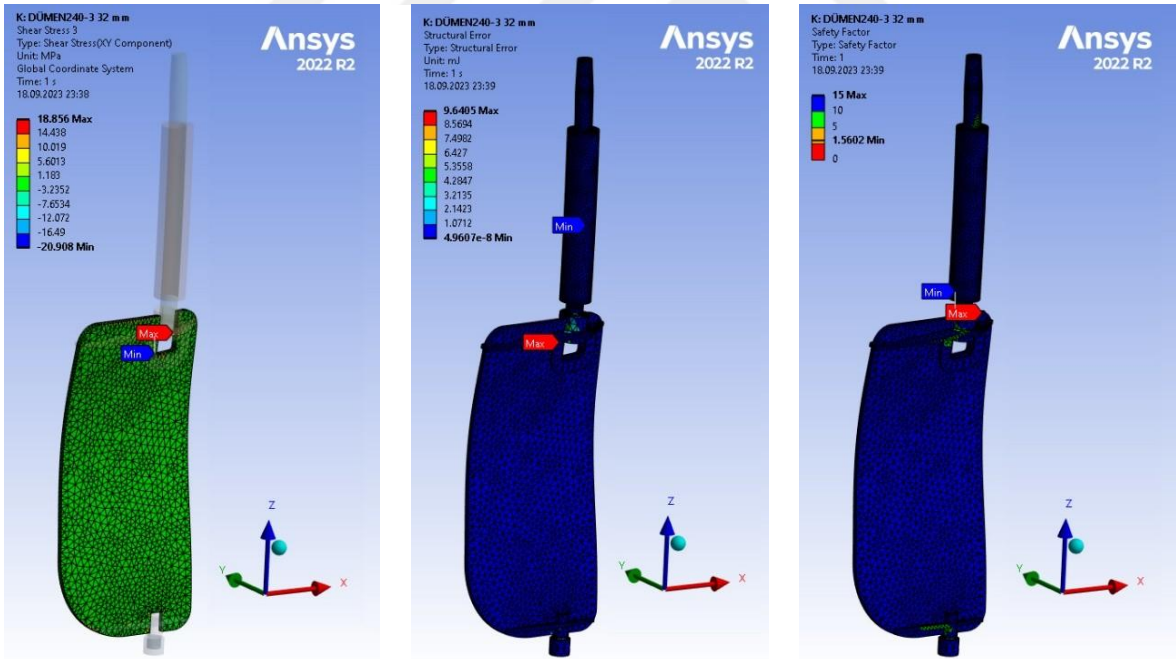
- Model DMN240-3



Şekil 27. Toplam deformasyon, von-Mises eşdeğer gerilmesi ve kayma gerilmesi dağılımı



Şekil 28. Rod eşdeğer gerilmesi ve kayma gerilmesi ile yelpaze eşdeğer gerilmesi dağılımı



Şekil 29. Yelpaze kayma gerilmesi, model emniyet faktörü ve yapısal hata dağılımı

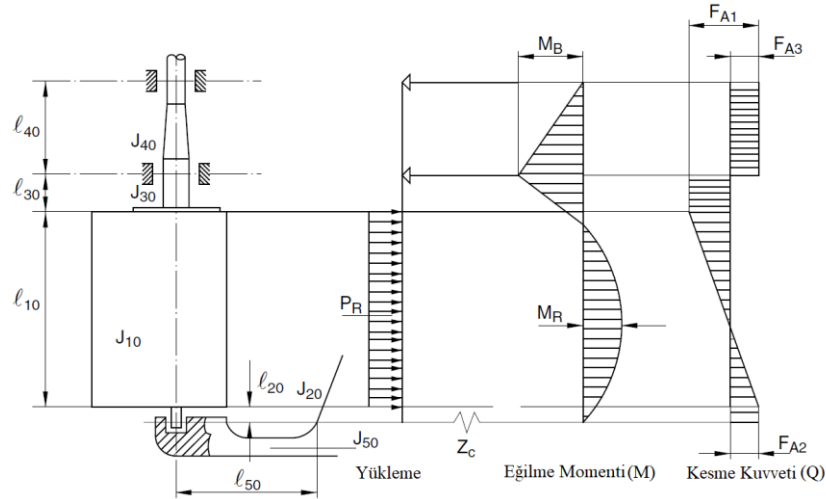
Tablo 6. Karşılaştırmalı gerilme değeri sonuçları

	Hesaplanan Değerler (MPa)		Limit Değerleri (MPa)			Uygunluk Durumu
	Max. von-Mises Eşdeğer Gerilmesi	Max. Kayma Gerilmesi	Malzeme Akma Gerilmesi	Türk Loydu Eşdeğer Gerilme Limiti	Türk Loydu Kayma Gerilmesi Limiti	
Tüm Model	134,590	47,979	235/210	235/210	235/210	Uygun
Rod	108,680	23,111	210	120	50	Uygun
Yelpaze	76,729	18,856	235	120	50	Uygun

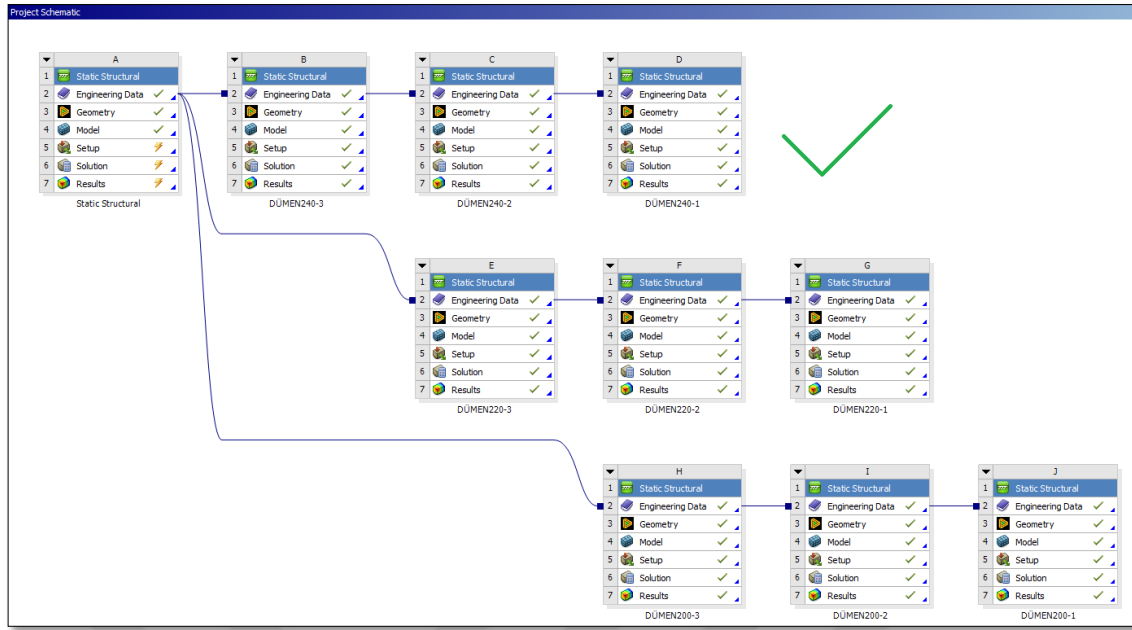
- SEY ile Kiriş Eğilme Momenti ve Kesme Kuvveti Dağılımının Belirlenmesi

Analizleri yapılan dümenin, topuk ile desteklenen tipte olması sebebiyle, Türk Loydu Kısım 1-Tekne Yapım Kuralları, Bölüm 18, Kısım C.3.4 direktifleri dikkate alınarak, eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımları belirlenmiştir.

Türk loydu ilgili kısmında topuk ile desteklenen, dümen rodunun yelpazede sürekli olan dümen tipi için beklenen kesme kuvveti ve eğilme momenti dağılımları Şekil 30’da, Ansys kiriş analizi arayüz anasayfa çözüm dosyaları Şekil 31’de verilmiştir. Analizi yapılan, topukla desteklenen ancak dümen rodu yelpazede sürekli olmayan dümen modelinin Ansys programında ayrıca yapılan kiriş analizi ayarları ve sonuçları Şekil 32 – Şekil 43’te sunulmuştur.



Şekil 30. Topuk ile desteklenen dümendeki yük, eğilme moment ve kesme kuvveti dağılımı



Şekil 31. Ansys giriş analizi arayüz anasayfa çözüm dosyaları

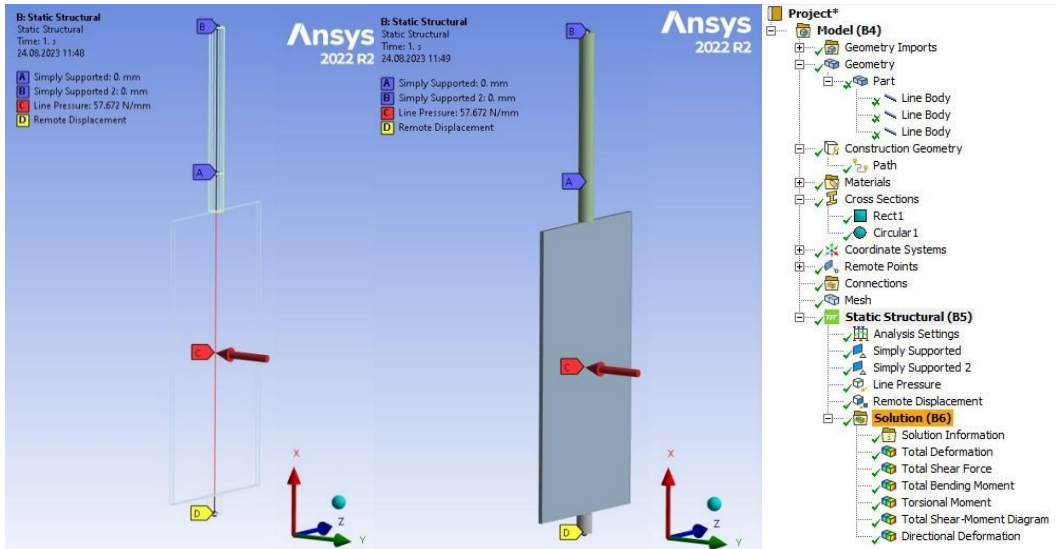
- Model DMN240-1

Dümen gövdesi yükü P_R aşağıdaki formül ile hesaplanmış ve Ansys modeline uygulanmıştır. Ayrıca sınır şartları da uygun biçimde mesnet noktalarına uygulanmıştır.

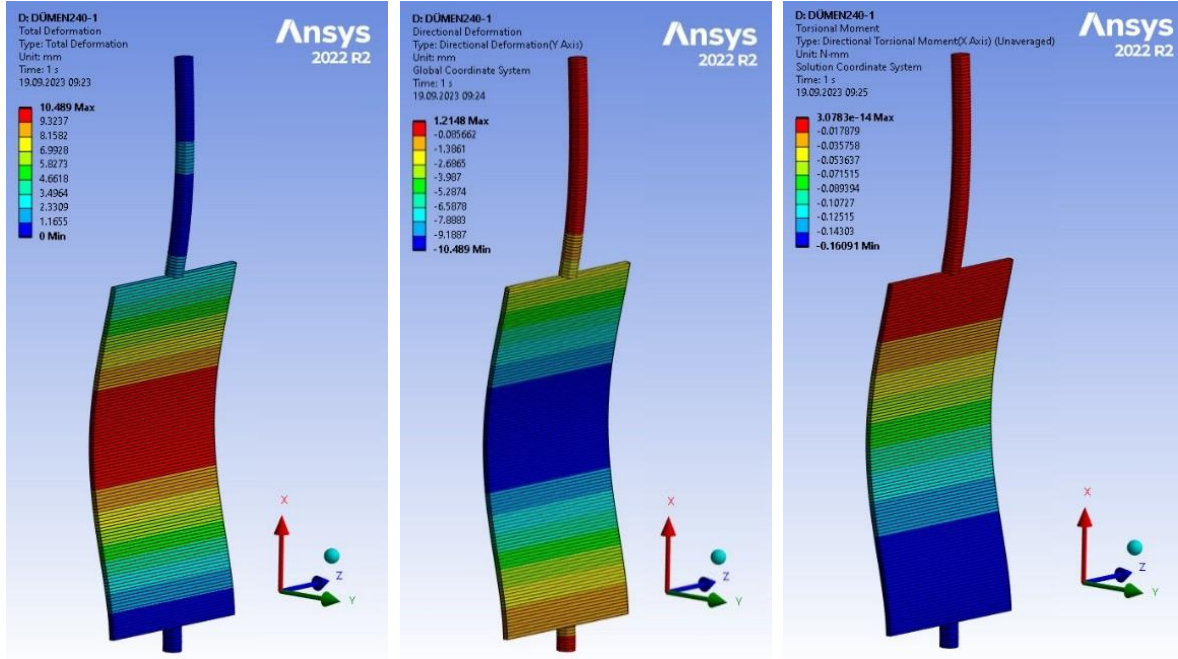
$$P_R = C_R / L_{10}, \text{ N/m}$$

$$P_R = 129761,280 / 2,25$$

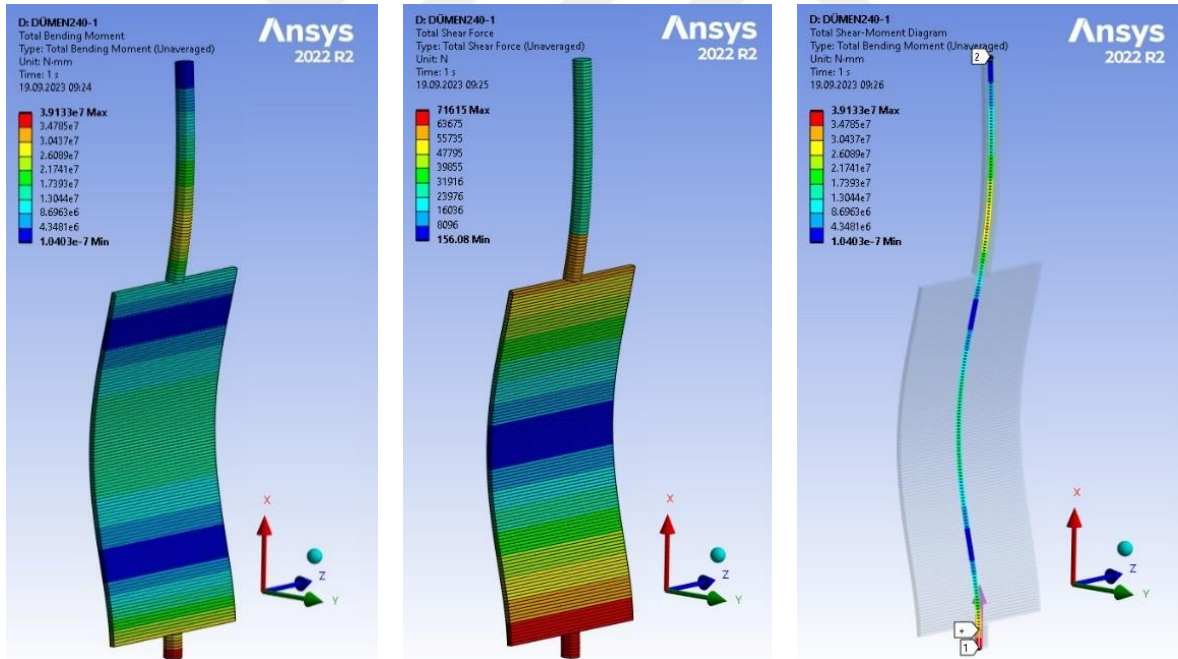
$$P_R = 57671,68 \text{ N/m} = 57,672 \text{ N/mm}$$



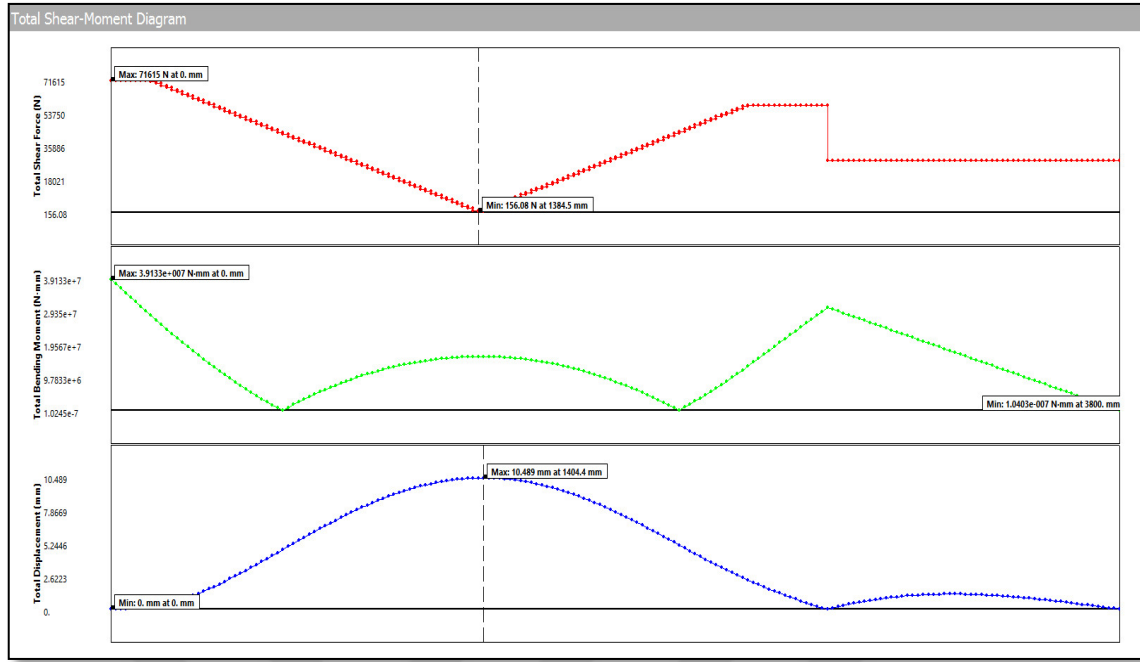
Şekil 32. Kiriş analizi ön ayarları



Şekil 33. Toplam ve y-ekseni deformasyon ile burulma momenti dağılımı

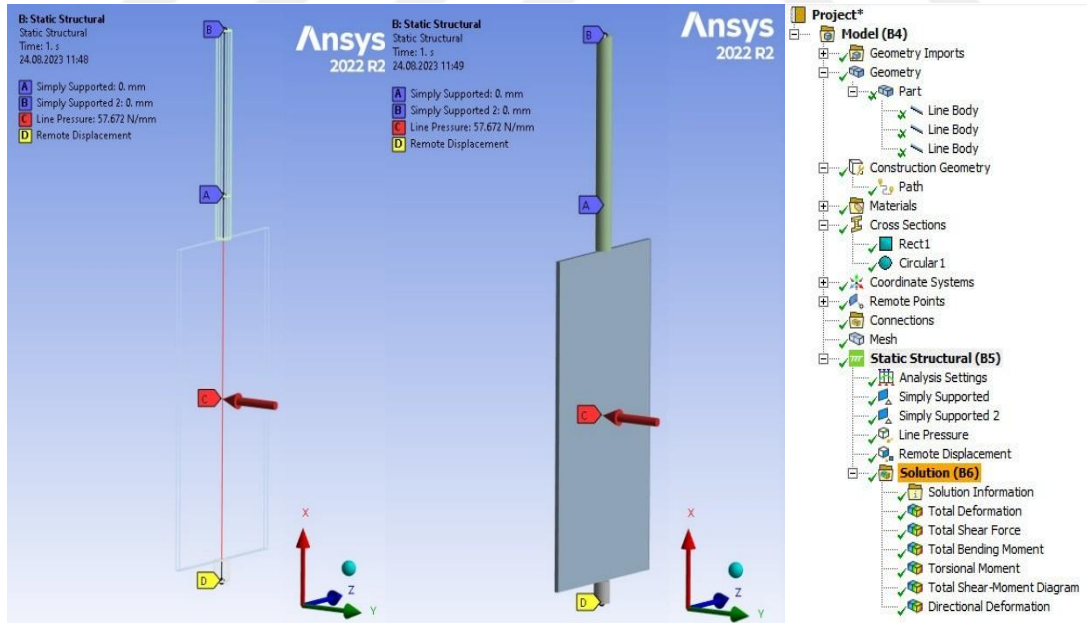


Şekil 34. Eğilme momenti, kesme kuvveti model üzeri dağılımı

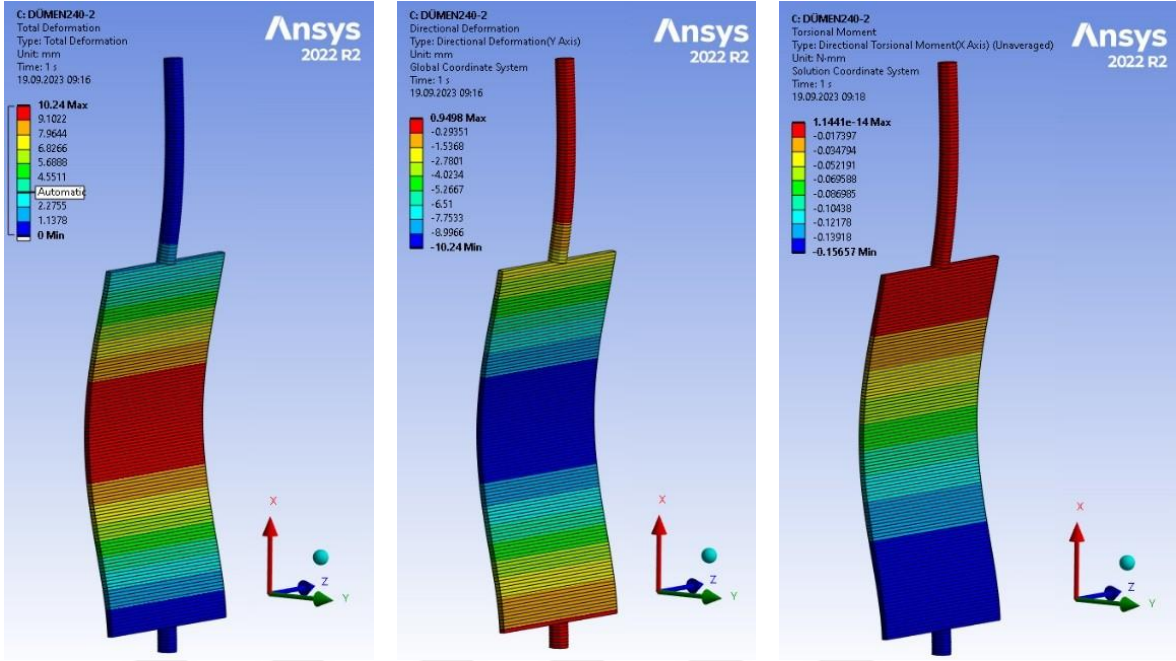


Şekil 35. Toplam eğilme momenti, kesme kuvveti ve yer değiştirme dağılım diyagramı

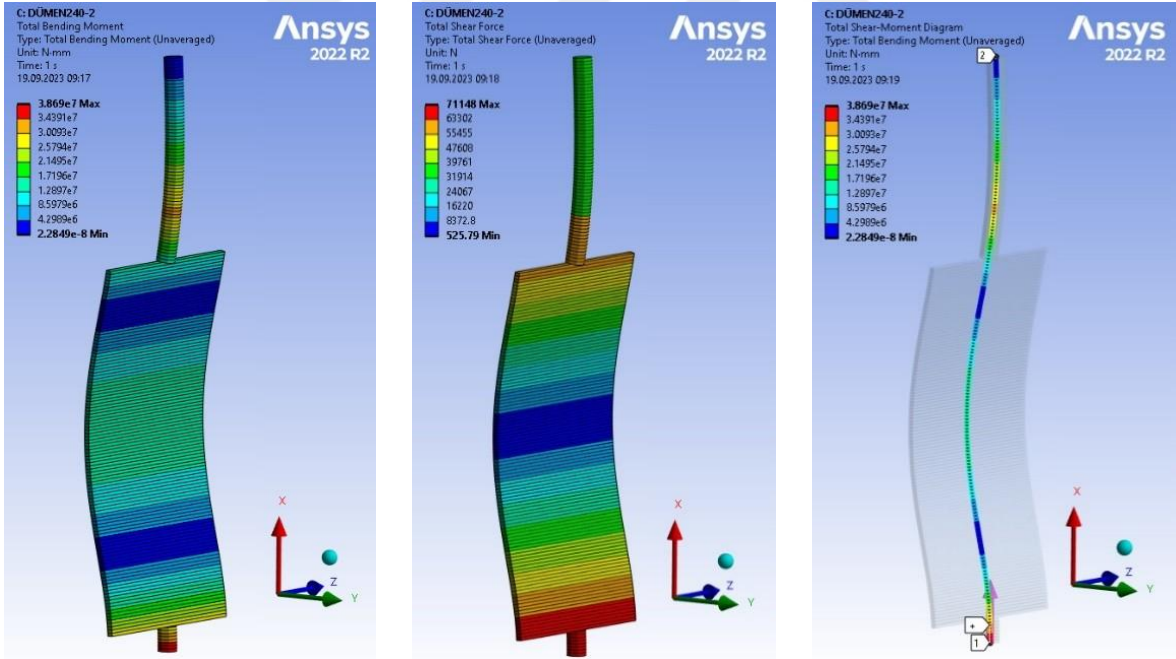
- Model DMN240-2



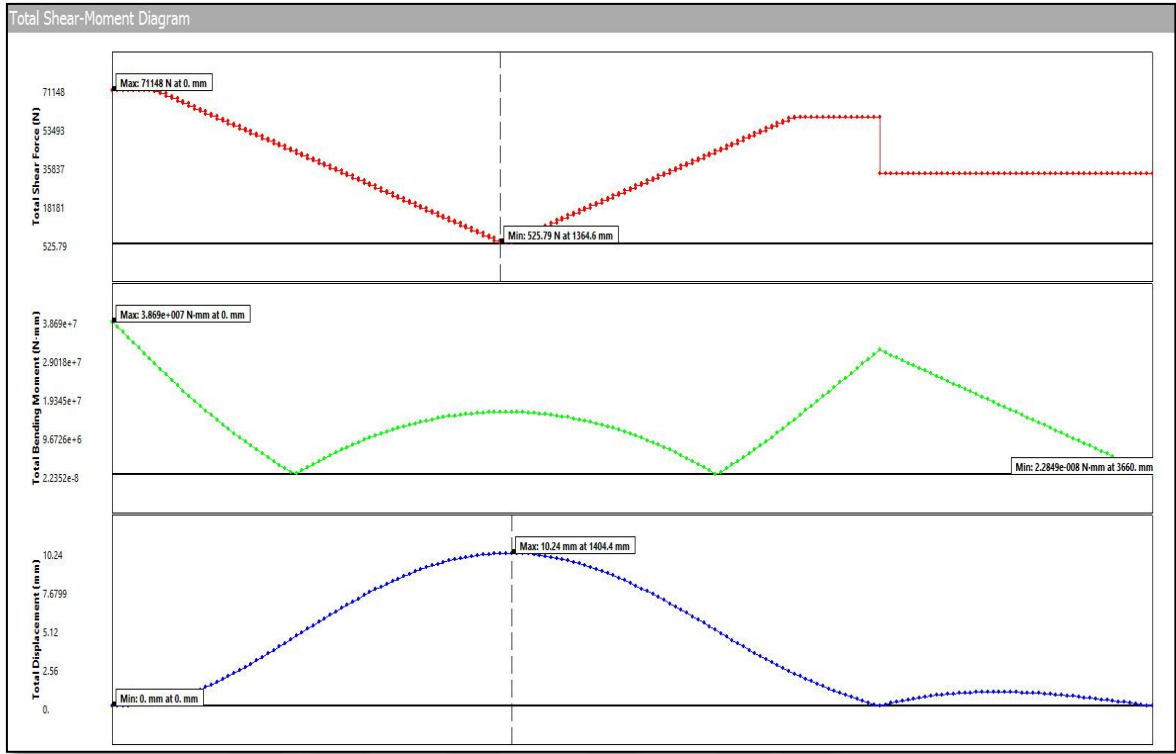
Şekil 36. Kiriş analizi ön ayarları



Şekil 37. Toplam ve y-ekseni deformasyon ile burulma momenti dağılımı

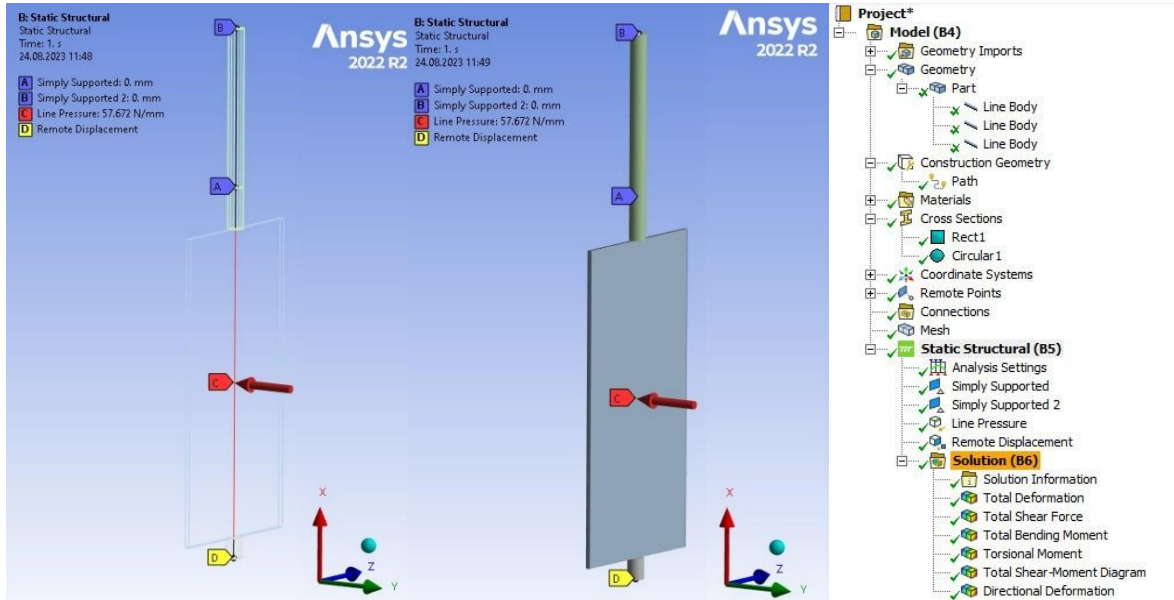


Şekil 38. Eğilme momenti, kesme kuvveti model üzeri dağılımı

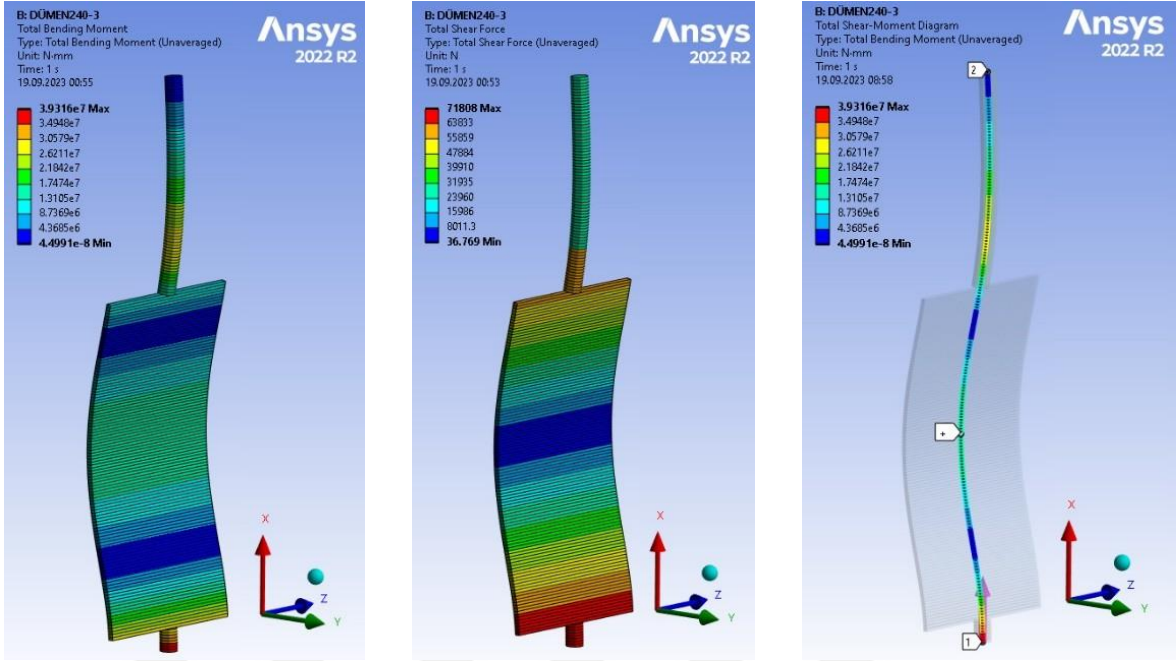


Şekil 39. Toplam eğilme momenti, kesme kuvveti ve yer değiştirme dağılım diyagramı

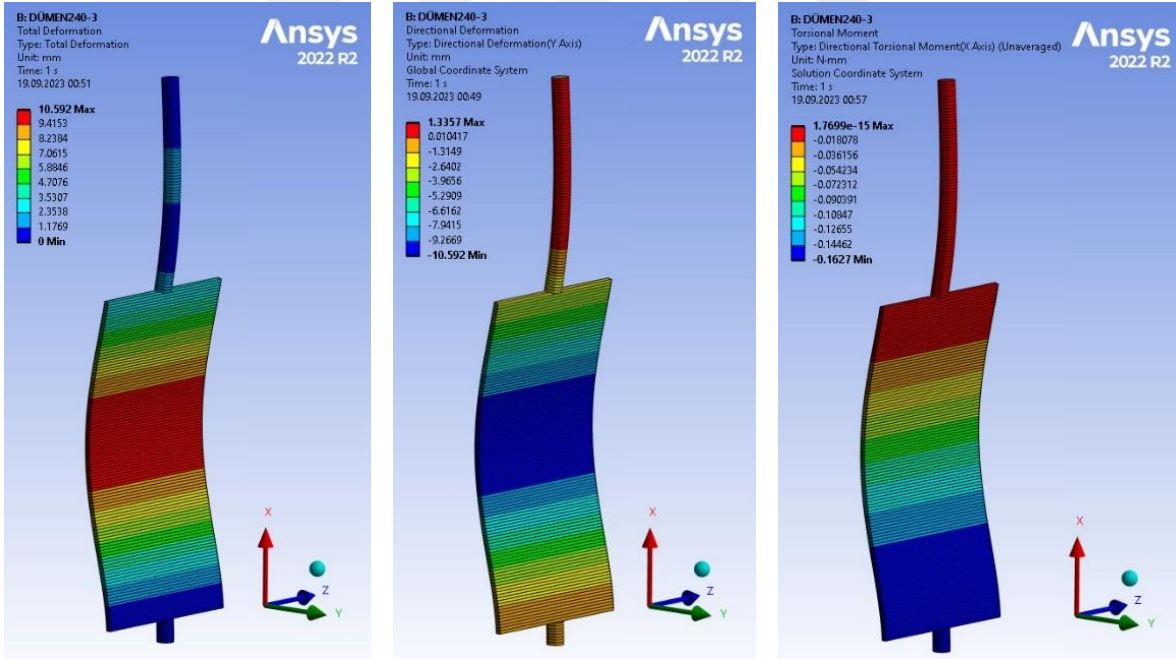
- Model DMN240-3



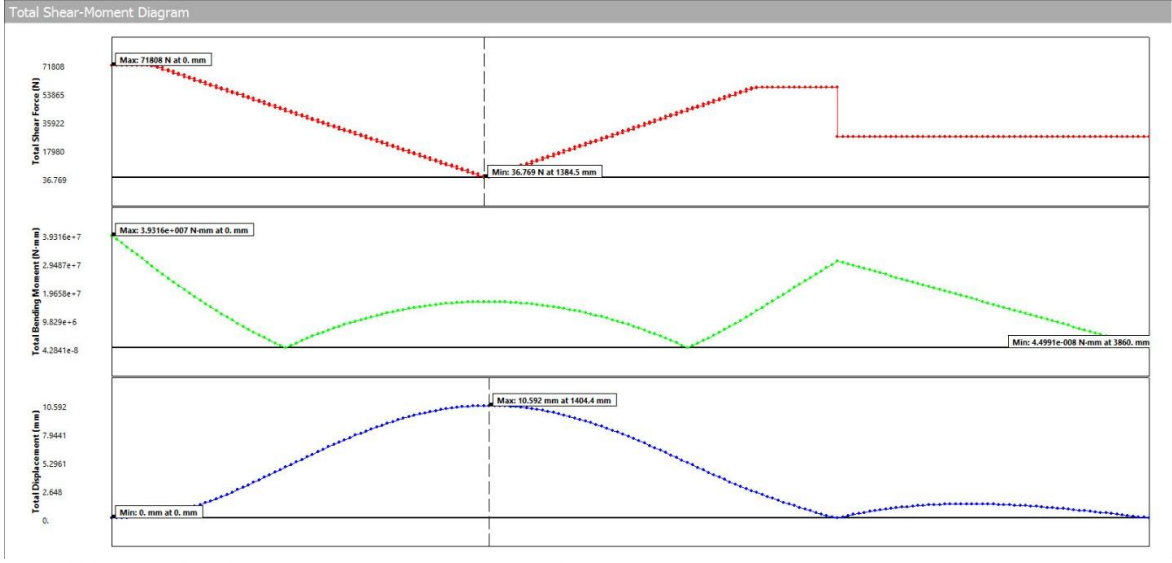
Şekil 40. Kiriş analizi ön ayarları



Şekil 41. Toplam ve y-ekseni deformasyon ile burulma momenti dağılımı



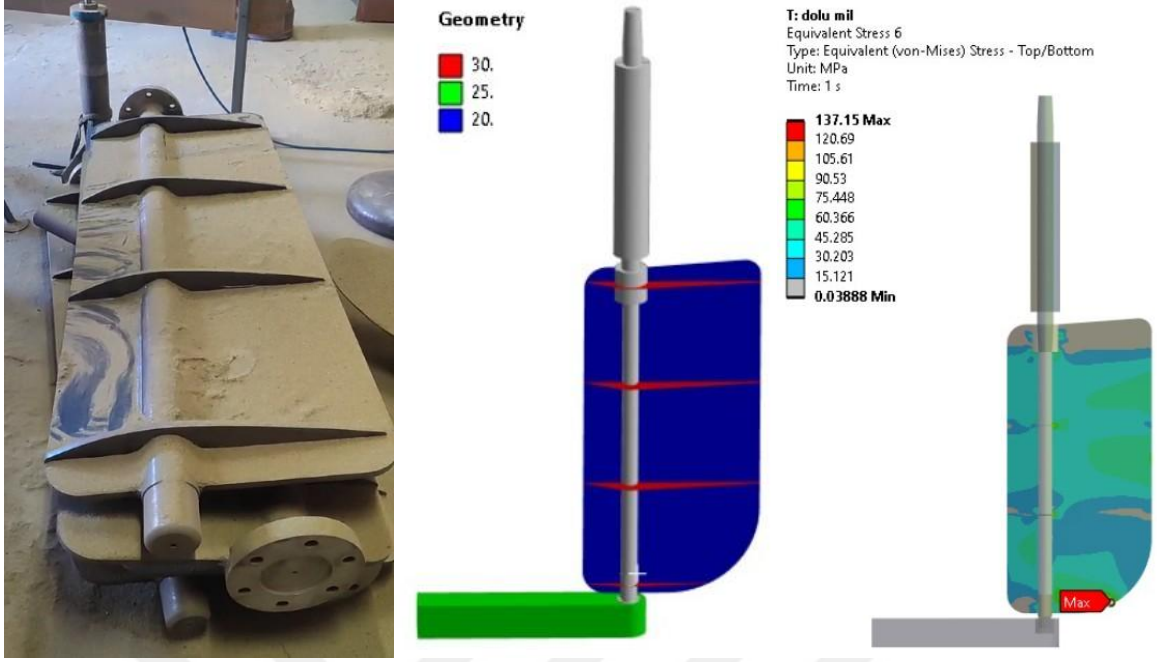
Şekil 42. Eğilme momenti, kesme kuvveti model üzeri dağılımı



Şekil 43. Toplam eğilme momenti, kesme kuvveti ve yer değiştirme dağılım diyagramı

2.2. Türk Loydu Tarafından Önerilen Model (DMN-TL)

Türk Loydu kural kitabındaki direktifler doğrultusunda önerilen topuk destekli dümen modelinde, dümen rodu hizasından, yelpaze boyunca uzanan tam dolu mil bulunmaktadır. Benzer yükleme ve sınır şartları altında doğrusal statik yapısal analiz koşturulmuş ve normal gemi inşa çeliği kullanılarak, 20 mm yelpaze kalınlığı, 25 mm topuk malzemesi kalınlığı ve 30 mm feder enine destek elemanı kalınlığı ile bu model, özellikle kritik olan üst göbek ve alt iğnecik bağlantıları etrafı başta olmak üzere tüm modelde izin verilebilir gerilme değerlerinin altında kalınmıştır. Buna rağmen, balıkçı teknesi sahiplerinin özellikle böyle uygulandığında gırgır ağlarının dolanması şikayetleri nedeniyle yeni bir tasarım arayışı ortaya çıkmıştır. DMN-TL modelinin uygulama ve analiz görselleri Şekil 44’te, hesaplanan ve limit gerilme değerlerinin karşılaştırılması Tablo 7’de sunulmuştur.



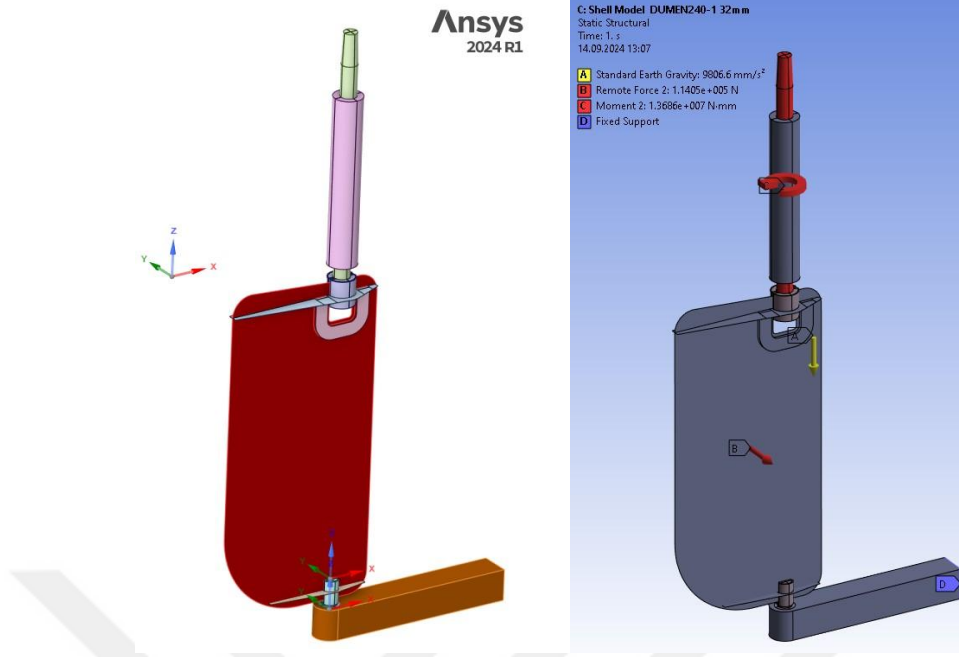
Şekil 44. DMN-TL modelinin uygulama ve analiz görselleri

Tablo 7. DMN-TL için hesaplanan ve limit gerilme değerlerinin karşılaştırılması

	Hesaplanan Değerler (MPa)		Limit Değerleri (MPa)			Genel Uygunluk Durumu
	Max. von-Mises Eşdeğer Gerilmesi	Max. Kayma Gerilmesi	Malzeme Akma Gerilmesi	Türk Loydu Eşdeğer Gerilme Limiti	Türk Loydu Kayma Gerilmesi Limiti	
Rod Hariç Tüm Model	137,15	12,265	235	120	50	Uygun
Rod	105,61	3,780	235	120	50	Uygun

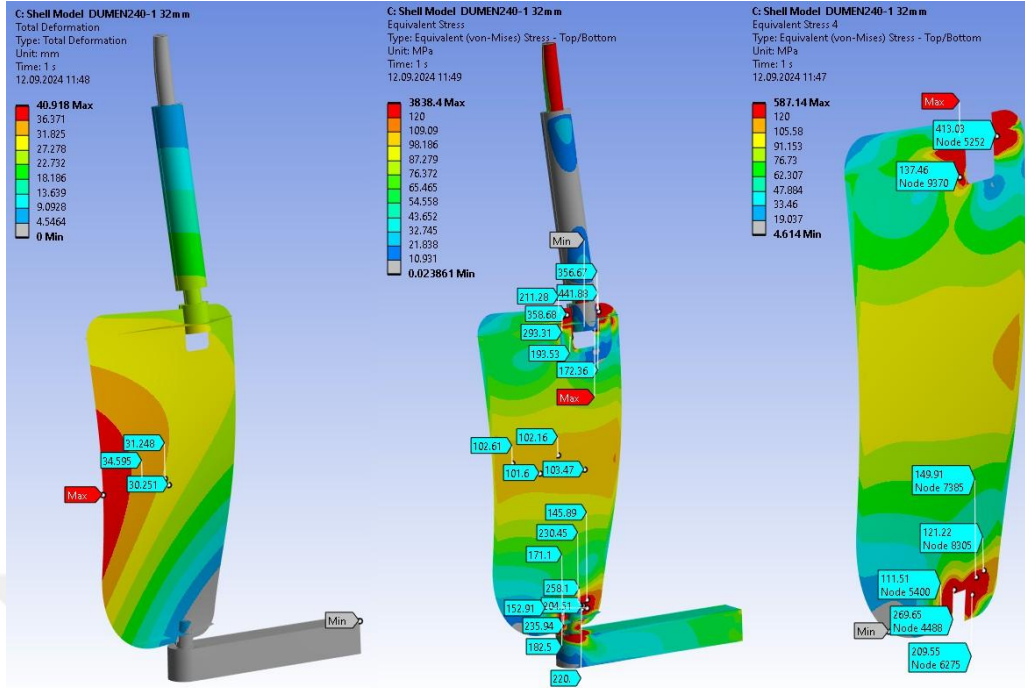
2.3. Geliştirilen Model-2 (DMN-2)

Literatürde gemi elemanlarının yapısal analizleri dikkate alındığında (Alaimo vd., 2012; Bai vd., 2018; Fernandez vd., 2016; Iqbal & Shifan, 2018; Tanny vd., 2017; Zhao vd., 2022), daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar elde edebilmek için, ikinci yaklaşım olarak Sonlu Elemanlar Analizi için, yelpaze ve üzerindeki destek elemanları ile topuk kısımları levha (Shell) eleman olarak, onun dışında kalan rod, kovan, göbek, iğnecik gibi kısımları ise 3B katı model şeklinde, kalınlıkları ile birlikte Solid elemanlar olarak modellenmiştir. DMN-2 genel görünüş, yükleme ve sınır şartları Şekil 45'te gösterilmiştir.



Şekil 45. DMN-2 genel görünüş, yükleme ve sınır şartları

Yükleme ve sınır şartları ilk model ile benzer şekilde uygulanmıştır. Analizlerde kullanılan dümen rodu burulma momenti değeri ise el ile teorik olarak hesaplanmıştır. Bu modelden itibaren tüm analizler bu şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Modelin yapısal eleman sayıları, boyutları ve malzeme özellikleri ilk model ile aynı alınmıştır. Bu modelin analizi sonucunda, tasarımın belirli kritik bölgelerindeki gerilme değerleri, özellikle yelpazenin üst tarafında göbek bağlantı kısmında, alt tarafında da iğnecik bağlantı kısmında malzeme akma gerilmesi değerinin üzerinde belirlenmiştir. Bu nedenle model uygun bulunmamış ve diğer bir tasarımın analizine geçilmiştir. Sonuçlar Şekil 46 ve Tablo 8’de gösterilmiştir.



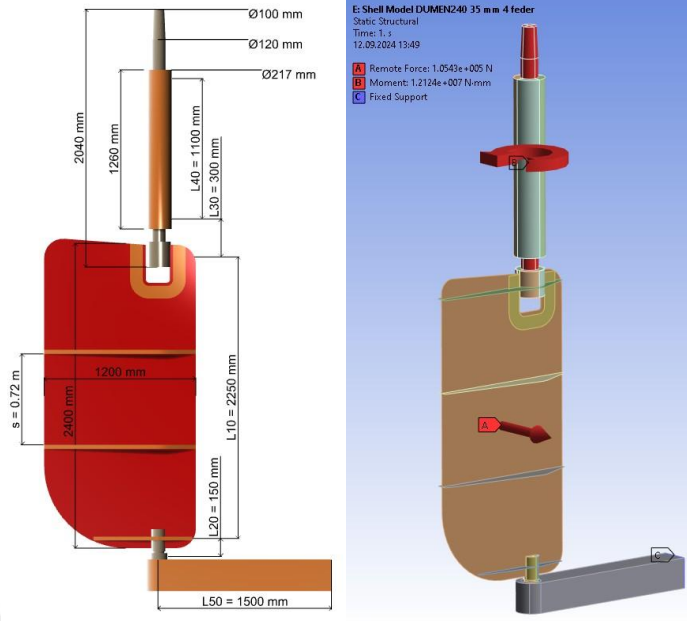
Şekil 46. DMN-2 toplam deformasyon ve von-Mises gerilme dağılımları

Tablo 8. DMN-2 için hesaplanan ve limit gerilme değerlerinin karşılaştırılması

	Hesaplanan Değerler (MPa)		Limit Değerleri (MPa)			Genel Uygunluk Durumu
	Max. von-Mises Eşdeğer Gerilmesi	Max. Kayma Gerilmesi	Malzeme Akma Gerilmesi	Türk Loydu Eşdeğer Gerilme Limiti	Türk Loydu Kayma Gerilmesi Limiti	
Rod Hariç Tüm Model	441,88	22,145	235	120	50	Uygun Değil
Yelpaze	413,03	7,370	235	120	50	Uygun Değil

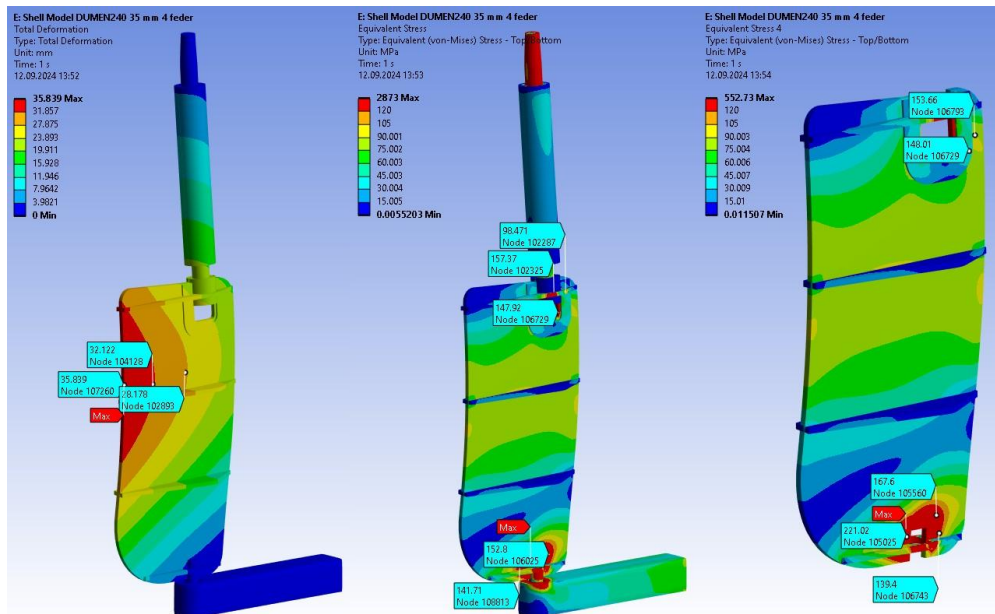
2.4. Geliştirilen Model-3 (DMN-3)

Modelin yapısal eleman boyutları ve malzeme özellikleri ilk model ile aynı alınmış ancak üst kısımda, enine destek elemanı federe kadar olan U şeklindeki dablın uçları üst sınıra kadar uzatılmış ve ayrıca eşit aralıklı olacak şekilde 2 enine destek elemanı feder eleman yerleştirilmiştir. DMN-3 genel görünüş, yükleme ve sınır şartları Şekil 47’de gösterilmiştir.



Şekil 47. DMN-3 genel görünüş, yükleme ve sınır şartları

Bu modelin analizi sonucunda da aynı bölgelerdeki gerilme değerleri, özellikle yelpazenin üst tarafında göbek bağlantı kısmında, alt tarafında da iğnecik bağlantı kısmında malzeme akma gerilmesi değerinin üzerinde kalmıştır. Bu nedenle model uygun bulunmamış ve diğer bir tasarımın analizine geçilmiştir. İki enine feder eklemenin ve dablın uçlarını uzatmanın, kritik bölgelerdeki gerilmeleri düşürmede etkili olmadığı sonucuna varılmıştır. Sonuçlar Şekil 48 ve Tablo 9’da gösterilmiştir.



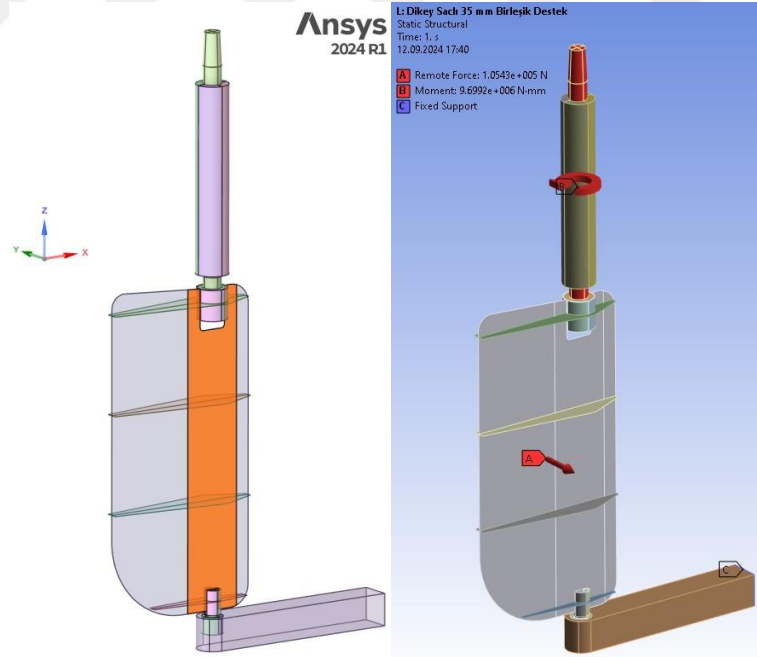
Şekil 48. DMN-3 toplam deformasyon ve von-Mises gerilme dağılımları

Tablo 9. DMN-3 için hesaplanan ve limit gerilme değerlerinin karşılaştırılması

	Hesaplanan Değerler (MPa)		Limit Değerleri (MPa)			Genel Uygunluk Durumu
	Max. von-Mises Eşdeğer Gerilmesi	Max. Kayma Gerilmesi	Malzeme Akma Gerilmesi	Türk Loydu Eşdeğer Gerilme Limiti	Türk Loydu Kayma Gerilmesi Limiti	
Rod Hariç Tüm Model	552,73	18,235	235	120	50	Uygun Değil
Yelpaze	221,02	5,322	235	120	50	Uygun Değil

2.5. Geliştirilen Model-4 (DMN-4)

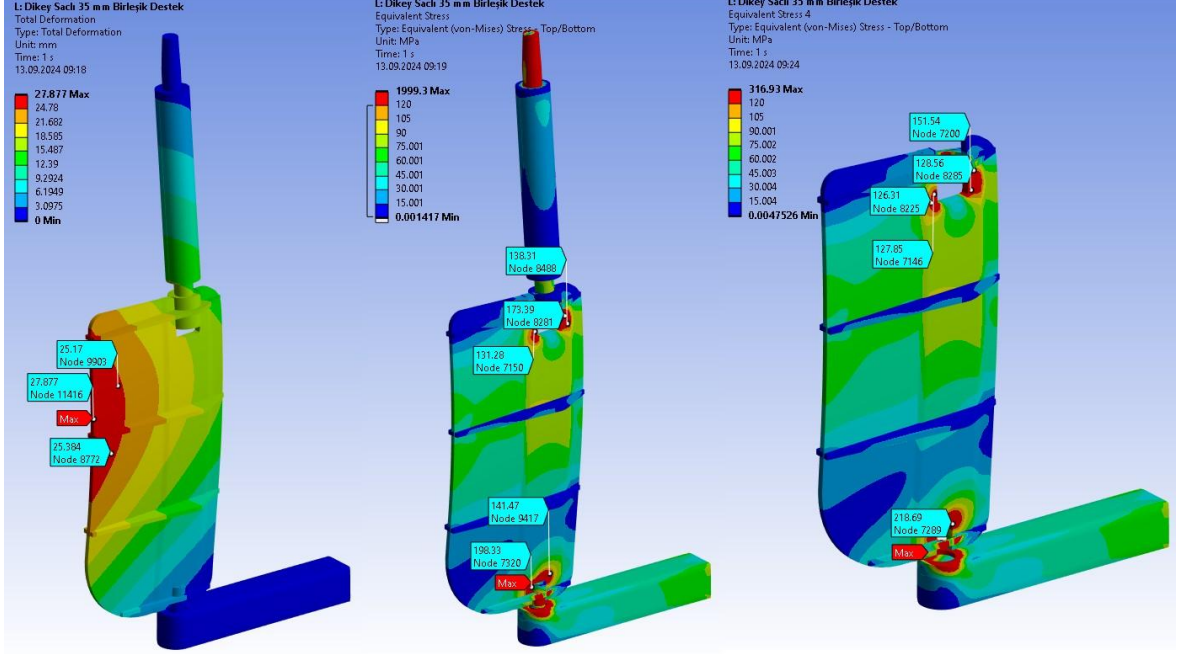
Modelin yapısında değişikliğe gidilerek, yelpaze 3 parça olarak tasarlanmıştır. Dümen rodu-göbek ve iğneciği içine alan orta parça 50 mm kalınlıkla ve diğer iki parça ise 35 mm kalınlıkla modellenmiştir. Üst kısımdaki U-dablin kaldırılmış, 4 adet enine feder ise korunmuştur. DMN-4 genel görünüş, yükleme ve sınır şartları Şekil 49’da gösterilmiştir.



Şekil 49. DMN-4 genel görünüş, yükleme ve sınır şartları

Bu modelin analizi sonucunda, yine tasarımın aynı kritik bölgelerindeki gerilme değerleri, malzeme akma gerilmesi değerinin üzerinde çıkmıştır. Bu nedenle model uygun bulunmamış ve diğer bir tasarımın analizine geçilmiştir. Kritik bölgelerde kalınlık artırmak

için yapılan bu üç parçalı uygulamanın da kritik bölgelerdeki gerilmeleri düşürmede etkili olmadığı sonucuna varılmıştır. Sonuçlar Şekil 50 ve Tablo 10'da gösterilmiştir.



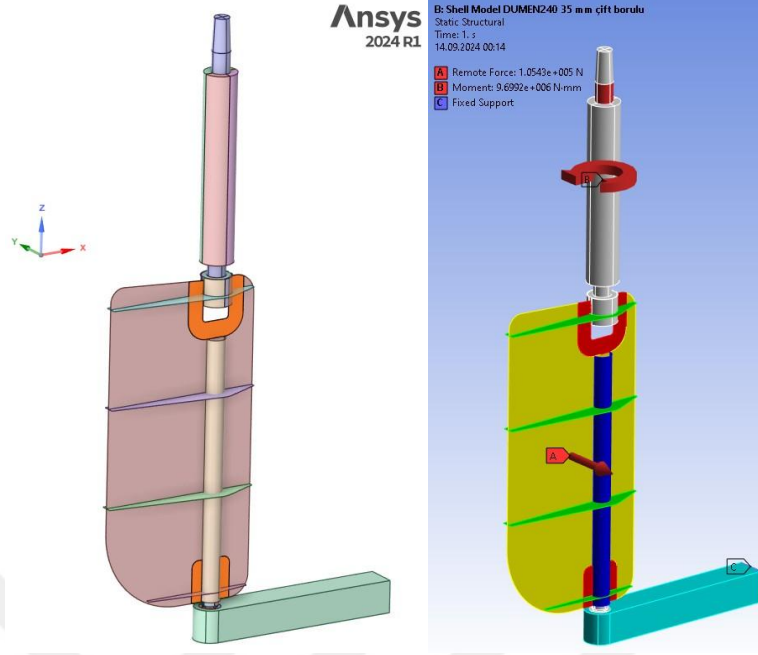
Şekil 50. DMN-4 toplam deformasyon ve von-Mises gerilme dağılımları

Tablo 10. DMN-4 için hesaplanan ve limit gerilme değerlerinin karşılaştırılması

	Hesaplanan Değerler (MPa)		Limit Değerleri (MPa)			Genel Uygunluk Durumu
	Max. von-Mises Eşdeğer Gerilmesi	Max. Kayma Gerilmesi	Malzeme Akma Gerilmesi	Türk Loydu Eşdeğer Gerilme Limiti	Türk Loydu Kayma Gerilmesi Limiti	
Rod Hariç Tüm Model	316,93	20,630	235	120	50	Uygun Değil
Yelpaze	218,69	6,420	235	120	50	Uygun Değil

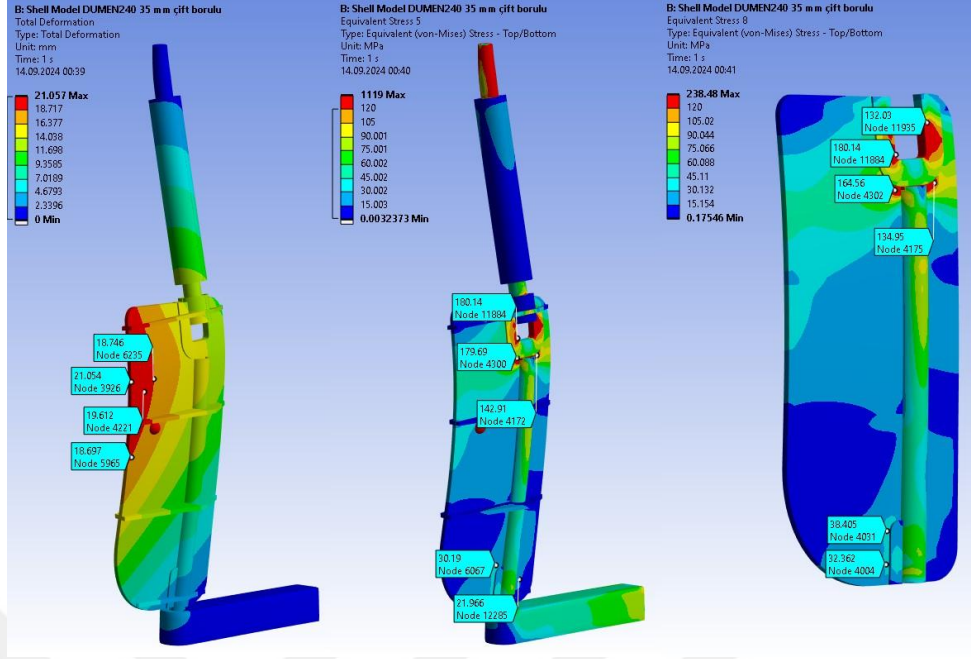
2.6. Geliştirilen Model-5 (DMN-5)

Modelin yapısında değişikliğe gidilerek, Model 3'e geri dönmüş ve ek olarak, alt iğnecik kısmına da U-dablin eklenmiş ve ayrıca U-dablin altından başlayıp iğnecik sonunda biten, iki taraflı yarım boru eleman eklenmiştir. DMN-5 genel görünüş, yükleme ve sınır şartları Şekil 51'de gösterilmiştir.



Şekil 51. DMN-5 genel görünüş, yükleme ve sınır şartları

Bu modelin analizi sonucunda, tasarımın alt iğnecik etrafındaki bölgede gerilme değerleri izin verilebilir gerilme değeri olan 120 MPa altında elde edilmiştir. Fakat, üst göbek bölgesinde kullanılan 60 mm kalınlığa rağmen kritik değerin altına düşülememiştir. Bu bölgede daha yüksek kalınlık ile yeterli sonuç alınabilmekte ancak uygulamada zor ve maliyetli hale gelmektedir. Bu nedenle model uygun bulunmamış ve diğer bir tasarımın analizine geçilmiştir. Kritik bölgelerde kalınlık artırmak için yapılan bu üç parçalı uygulamanın da kritik bölgelerdeki gerilmeleri düşürmede etkili olmadığı sonucuna varılmıştır. Sonuçlar Şekil 52 ve Tablo 11’de gösterilmiştir.



Şekil 52. DMN-5 toplam deformasyon ve von-Mises gerilme dağılımları

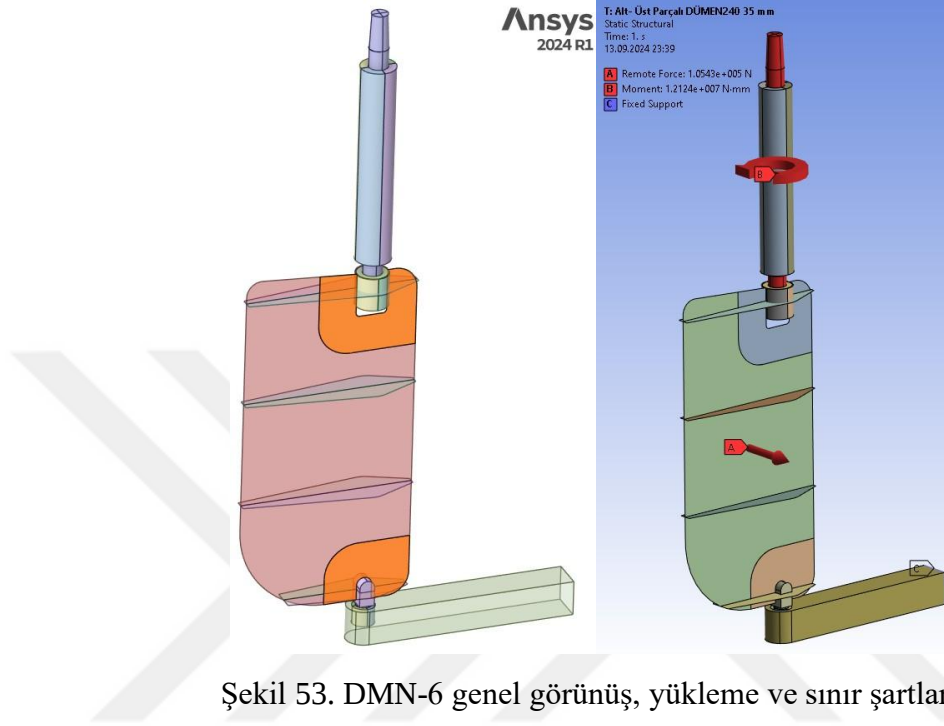
Tablo 11. DMN-5 için hesaplanan ve limit gerilme değerlerinin karşılaştırılması

	Hesaplanan Değerler (MPa)		Limit Değerleri (MPa)			Genel Uygunluk Durumu
	Max. von-Mises Eşdeğer Gerilmesi	Max. Kayma Gerilmesi	Malzeme Akma Gerilmesi	Türk Loydu Eşdeğer Gerilme Limiti	Türk Loydu Kayma Gerilmesi Limiti	
Rod Hariç Tüm Model	238,48	15,450	235	120	50	Uygun Değil
Yelpaze	180,14	5,780	235	120	50	Uygun Değil

2.7. Geliştirilen Model-6 (DMN-6)

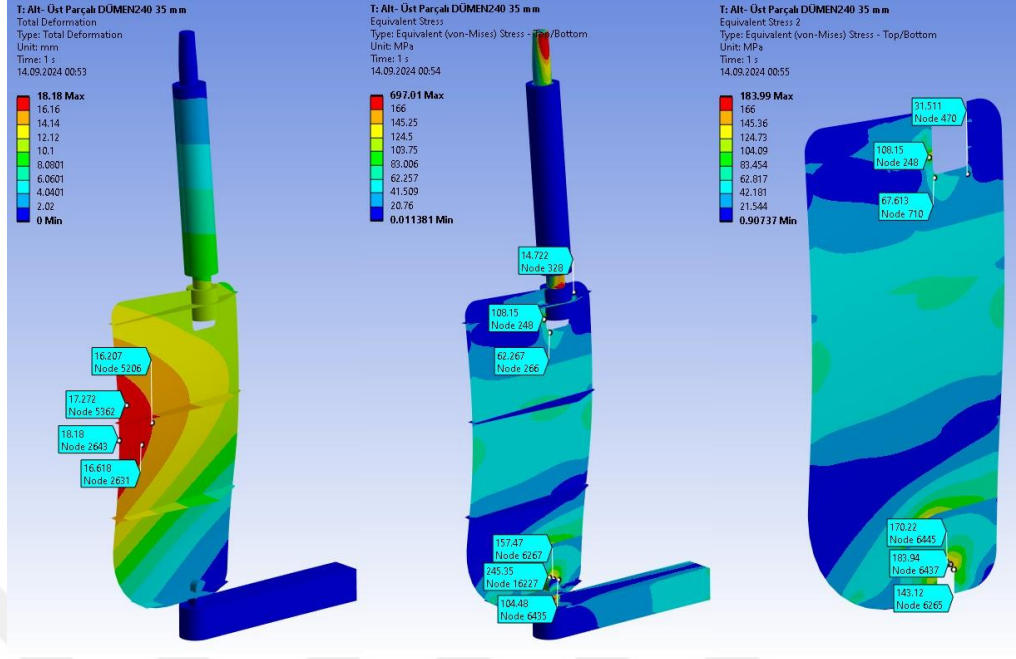
Önceki modellerin analizleri sonucunda, malzeme akma değerinin altında kalmak için kalınlık artışı yapılmasının çözüm olacağı ancak bu durumunda uygulama açısından zor ve maliyetli olacağı tespit edilmiştir. Bu sebeple, modelin yapısında tekrar değişikliğe gidilerek, yelpazenin göbek bulunan üst tarafı ve iğnecik bulunan alt tarafı ayrı modellenmiş, bu ayrı kısımların hem kalınlık hem de malzeme özellikleri arttırılmıştır. Üst kısımdaki parçanın kalınlığı 50 mm, alt kısımdaki parça 60 mm ve yelpaze ana gövdesi 35 mm olarak alınmıştır. Ayrıca, üst ve alt kısımdaki parçalarda S355J0 Gemi İnşa Çeliği, yelpaze ana gövdesinde de A Grade Gemi İnşa Çeliği kullanılmıştır. Diğer levha elemanlarda da 30 mm

A Grade Gemi İnşa Çeliği kullanılmıştır. 4 adet feder korunmuş, ayrıca iğnecik yapısında değişikliğe gidilerek üst kısmı yuvarlatılmıştır. DMN-6 genel görünüş, yükleme ve sınır şartları Şekil 53'te gösterilmiştir.



Şekil 53. DMN-6 genel görünüş, yükleme ve sınır şartları

Bu modelin analizi sonucunda, üst kısımdaki parçada kritik bölgelerde gerilme değerleri izin verilebilir gerilme değeri olan 166 MPa altında elde edilmiştir. Fakat, alt iğnecik bölgesinde kullanılan 60 mm kalınlığa rağmen kritik değerin altına düşülememiştir. Bu bölgede daha yüksek kalınlık ile yeterli sonuç alınabilmekte ancak uygulamada zor ve maliyetli hale gelmektedir. Bu nedenle model uygun bulunmamış ve diğer bir tasarımın analizine geçilmiştir. Sonuçlar Şekil 54 ve Tablo 12’de gösterilmiştir.



Şekil 54. DMN-6 toplam deformasyon ve von-Mises gerilme dağılımları

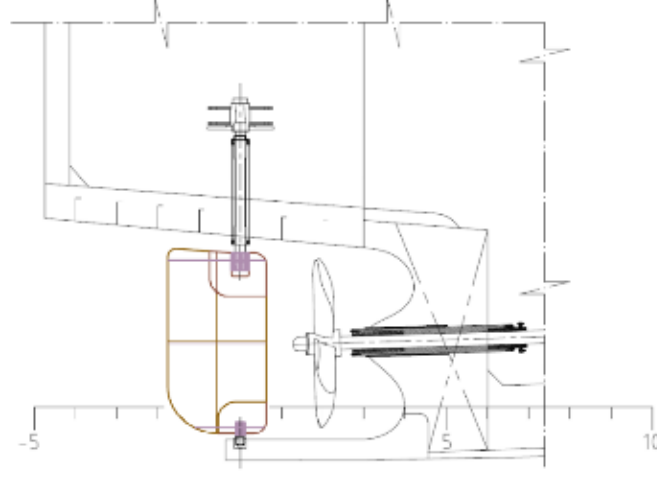
Tablo 12. DMN-6 için hesaplanan ve limit gerilme değerlerinin karşılaştırılması

	Hesaplanan Değerler (MPa)		Limit Değerleri (MPa)			Genel Uygunluk Durumu
	Max. von-Mises Eşdeğer Gerilmesi	Max. Kayma Gerilmesi	Malzeme Akma Gerilmesi	Türk Loydu Eşdeğer Gerilme Limiti	Türk Loydu Kayma Gerilmesi Limiti	
Rod Hariç Tüm Model	235,94	22,145	355/450	120	50	Uygun Değil
Yelpaze	413,03	7,370	355	120	50	Uygun Değil

2.8. DMN-7 Ön Dizayn Hesapları ve Ana Boyutları

Yapılan farklı tasarım çalışmaları ve analizler sonucunda Türk Loydu’ndan onay alan ilk model için elde edilen sonuçlar bu kısımda sunulmuştur. Bu kısımda ilk onaylanan model olarak, analizler mevcut üretilmiş “Korkmazlar Balıkçılık 1” isimli balık avcı gemisinin orta ve yan dümenlerindeki dümen yelpazesi ve rod bağlantısı tasarımı için yapılmıştır. Bu kısımda, DMN-7 Orta ve DMN-7 İskele-Sancak model dümen sistemlerinin analiz sonuçları sunulmuştur. Bu modelde, yelpazedeki alt ve üst parçalar ile yine alt ve üst kısımlarda kullanılan enine destek elemanı federler korunmuş, ancak ortada kullanılan iki feder yerine tam ortada tek federin yeterli olduğu tespit edilmiştir.

Dümen sistemi tekne kıçı bağlantısı için örnek bir genel yerleşim planından alınmış kesiti aşağıdaki Şekil 55'te gösterilmiştir.



Şekil 55. Tekne-dümen bağlantısı genel görünümü

Dümen sistem bileşenleri ve kullanılan malzeme özellikleri ise aşağıda Tablo 13'te sunulmuştur.

Tablo 13. Dümen sistemi bileşenleri ve malzeme özellikleri

No	İsim	Malzeme
1	Salmastra Kutusu	Paslanmaz Çelik 304
2	Cıvata	Paslanmaz A Grade
3	Üst Yatak	Bronz
4	Kovan	Gemi İnşa Çeliği A Grade
5	Dümen Rodu	Paslanmaz Çelik Duplex 1.4462
6	Alt Yatak	Bronz
7	Cıvata	Paslanmaz A Grade
8	Göbek (Konik Kablo)	Paslanmaz Çelik 304
9	Üst Feder	Gemi İnşa Çeliği A Grade
10	Kama	Paslanmaz Çelik 304
11	Somun	Paslanmaz Çelik 304
12	Dümen Yelpazesi Üst	Gemi İnşa Çeliği S355J0
13	Dümen Yelpazesi Orta	Gemi İnşa Çeliği S355J0
14	Üst Feder	Gemi İnşa Çeliği A Grade
15	Dümen Yelpazesi Alt	Gemi İnşa Çeliği S355J0
16	Alt Feder	Gemi İnşa Çeliği A Grade
17	İğnecik	Paslanmaz Çelik 304
18	İğnecik Yatağı	Bronz
19	İğnecik Yuvası	Paslanmaz Çelik 304

	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)
Paslanmaz Çelik 304	210	510
Paslanmaz Çelik Duplex	450	650
Gemi İnşa Çeliği A Grade	235	460
Gemi İnşa Çeliği S355J0	355	460

2.8.1. Türk Loydu Kuvveti ve Dümen Burulması Hesabı

Dümen yelpaze kuvveti ve dümen rodu burulma momenti ve bunlara bağlı minimum rod çapı ve yelpaze kalınlığı hesabı Tablo 14'te sunulmuştur. Burulma momentinin elde edildiği örnek bir hesaplama da aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 14. DMN-7 Minimum rod çapı ve yelpaze kalınlığı hesabı

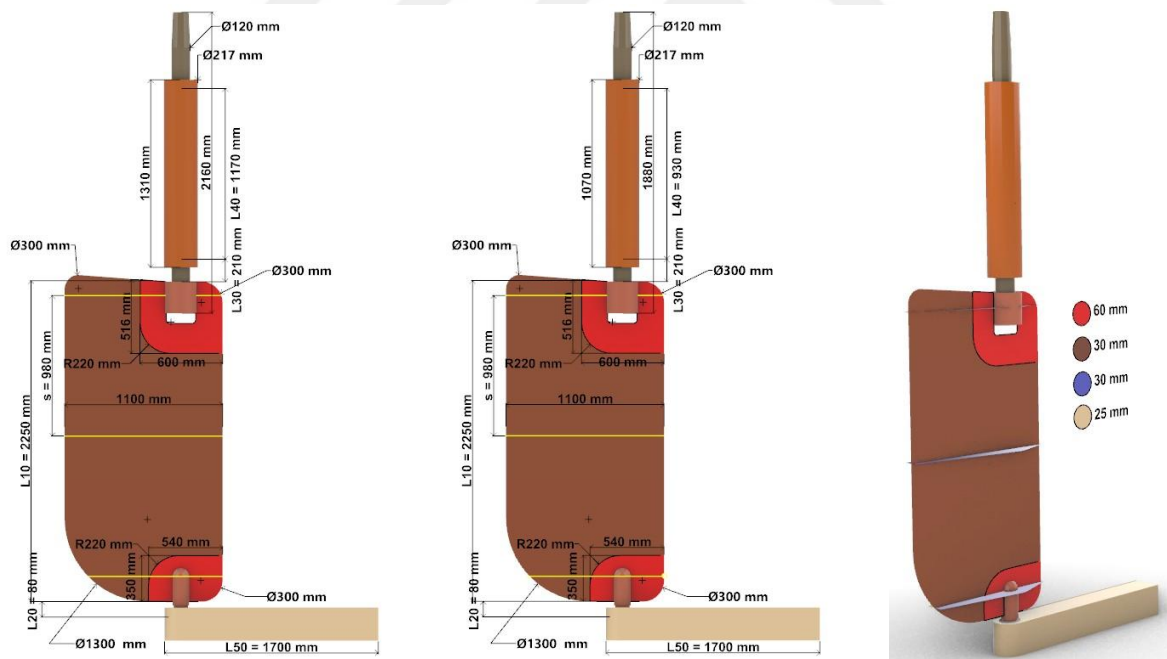
Formül-Değer	Açıklama	Sonuç DMN225 Orta	Sonuç DMN225 İskele/Sancak
$k_1=(\Lambda+2)/3$	Dümen yelpazesi kenar oranına bağlı katsayı	1,33	1,33
$\Lambda=b^2/A_t$	Kenar oranı	2,00	2,00
B [m]	Dümen yelpazesinin alanın ortalama yüksekliği	2,25	2,25
c [m]	Dümen yelpazesi alanının ortalama genişliği	1,10	1,10
A_t [m ²]	A+Dümen boynuzu alanı varsa	2,38	2,38
k_2	Dümen tipine ve dümen yelpazesine göre katsayı	1,00	1,00
k_3	Dümen yelpazesinin konumuna göre katsayı	1,00	1,00
Sabit değer	Sabit değer	132,00	132,00
A [m ²]	Dümen yelpazesinin alanı	2,38	2,38
V_0 [knot]	Gemi hızı	14,00	14,00
$C_R=132*A*k_1*k_2*k_3*V_0^2$ [N]	Dümen kuvveti	82239,06	82239,06
$r= c(a-k_b)$ [m]	Dümen kuvveti moment kolu mesafesi	0,11	0,11
c [m]	Dümen yelpazesi alanının ortalama genişliği	1,10	1,10
a	İleri hareket için katsayı	0,33	0,33
a	Tornistan hareketi için katsayı	0,66	0,66
$k_b=A_f/A$	Balans faktörü	0,28	0,28
A_f [m ²]	Dümen şaft ekseninin baş tarafında yer alan yelpaze alanı	0,67	0,67
A [m ²]	Dümen yelpazesinin alanı	2,38	2,38
$Q_R=C_R*r$ [Nm]	Dümen burulma momenti	9046,30	9046,30
Dümen Rodu Çapı ve Dümen Yelpazesi Kalınlığı			
$D_{tmin}=4,2*(Q_R*k_r)^{1/3}$ [mm]	Hesaplanan dümen rodu çapı	74,39	74,39
k_r	Malzeme faktörü	0,61	0,61
$\sigma_{akma-rod}$ [MPa]	Kullanılacak malzeme akma değeri	450	450
M_B [Nm]	Boğaz yatağındaki eğilme momenti	30372,24	30372,24
D_t [mm]	Artırılmış dümen rodu çapı	118,13	118,13
s [m]	Federler arası mesafe	0,980	0,980
$T_b=1,5*s*V*(k)^{0,5}+2,5$ [mm]	Hesaplanan dümen yelpaze kalınlığı	20,13	20,13
$\sigma_{akma-yelpaze}$ [MPa]	Kullanılacak malzeme akma değeri	355	355
k_r	Malzeme faktörü	0,73	0,73
$T_{b-üst\ parça}$ [mm]	Kullanılan dümen yelpaze üst parça kalınlığı	60	60
$T_{b-alt\ parça}$ [mm]	Kullanılan dümen yelpaze alt parça kalınlığı	60	60
$T_{b-orta\ parça}$ [mm]	Kullanılan dümen yelpaze orta parça kalınlığı	30	30

Hesaplamalar sonucunda DMN-7 model dümenin analiz edilen boyutları aşağıdaki Tablo 15’te verilmiştir.

Tablo 15. Dümen tipleri ve ana boyutları

Dümen Tipi	DMN225 Orta	DMN225 İskele/Sancak
Özellik		
Yelpaze Yüksekliği (mm)	2250	2250
Yelpaze Genişliği (mm)	1100	1100
Yelpaze Kalınlığı-Üst Parça (mm)	60	60
Yelpaze Kalınlığı-Alt Parça (mm)	60	60
Yelpaze Kalınlığı-Orta Parça (mm)	30	30
Rod Uzunluğu (mm)	2160	1880
Rod Çapı (mm)	120	120
Kovan Yüksekliği (mm)	1310	1070
Kovan Dış Çapı (mm)	217	217

Buna göre, analiz için hazırlanan modeller aşağıdaki Şekil 56'da gösterilmiştir.

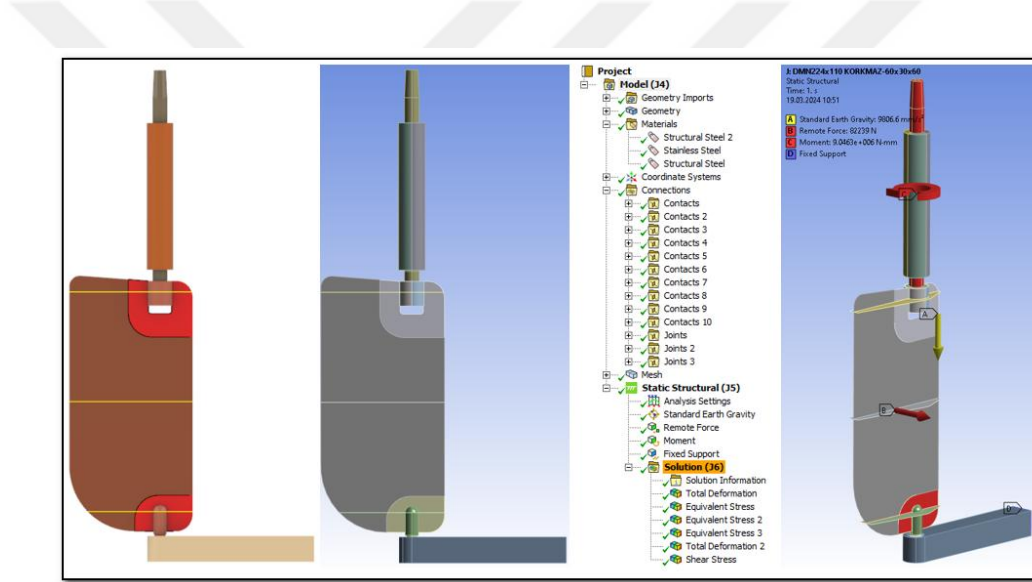


Şekil 56. DMN-7-Orta ve DMN-7-İskele/Sancak dümenlerin boyutlandırılmış gösterimi

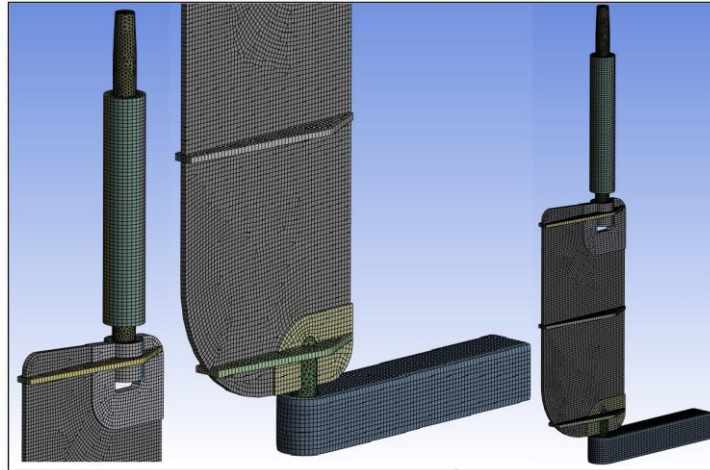
2.8.2. Sonlu Elemanlar Analizi (SEA)

- Ön Ayarlar

Çözüm süresini azaltmak ve dosya boyutunda tasarruf edebilmek amacıyla, analiz için Ansys programına aktarılan modelde, dümen yelpazesi, dümen rodu, dümen kovani, iğnecik ve iğnecik yatağı ile yelpazenin alt ve üst bağlantılarını destekleyen feder ve kaplinler kullanılmıştır. Diğer kısımlar sınır şartları kullanılarak temsil edilmişler ve rijit kabul edilmişlerdir. Hem malzeme hem de geometrik açıdan doğrusal statik analizler koşturulmuştur. Analiz ön ayarları Şekil 57’de ve modelin mesh (ağ örgüsü) atanmış hali Şekil 58’de verilmiştir.



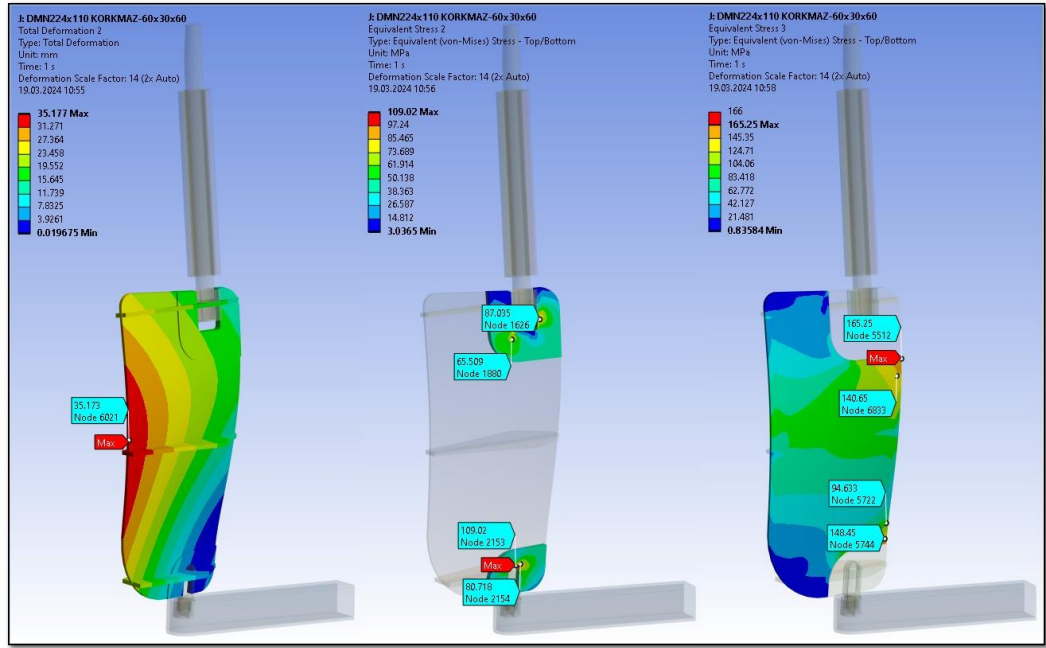
Şekil 57. Analiz 3D ve Ansys modeli, sınır şartları ve yükleme ayarları



Şekil 58. Ağ yapısı atanmış model (mesh)

- 3B Katı Model SEY Analizleri

Yelpaze boyutları sabit, dümen rod ve kovan uzunlukları farklı iki model için (Orta Dümen ve İskele-Sancak Dümen) sonuçlar önce şekillerle daha sonra da limit değerler ile karşılaştırmalı olacak şekilde Tablo 3 ve Tablo 4’te, tüm model için toplam deformasyon, von-Mises eşdeğer gerilmesi ($\sigma_{mod-eqv}$), tüm model kayma gerilmesi (τ_{mod}), yelpaze için von-Mises eşdeğer gerilmesi ($\sigma_{yjp-eqv}$), yelpaze için kayma gerilmesi (τ_{yjp}) dağılım değerleri Şekil 59 ve Tablo 16’da sunulmuştur.



Şekil 59. Yelpaze kısımları von-Mises eşdeğer gerilmesi ve toplam deformasyon dağılımı

Tablo 16. Karşılaştırmalı gerilme değeri sonuçları

	Hesaplanan Değerler (MPa)		Limit Değerleri (MPa)			Genel Uygunluk Durumu
	Max. von-Mises Eşdeğer Gerilmesi	Max. Kayma Gerilmesi	Malzeme Akma Gerilmesi	Türk Loydu Eşdeğer Gerilme Limiti	Türk Loydu Kayma Gerilmesi Limiti	
Tüm Model	165,25	12,145	355/450	166	50	Uygun
Yelpaze	165,25	7,370	355	166	50	Uygun

Bu dümenin imalat sonrası fotoğrafı Şekil 60’ta aşağıda sunulmuştur.

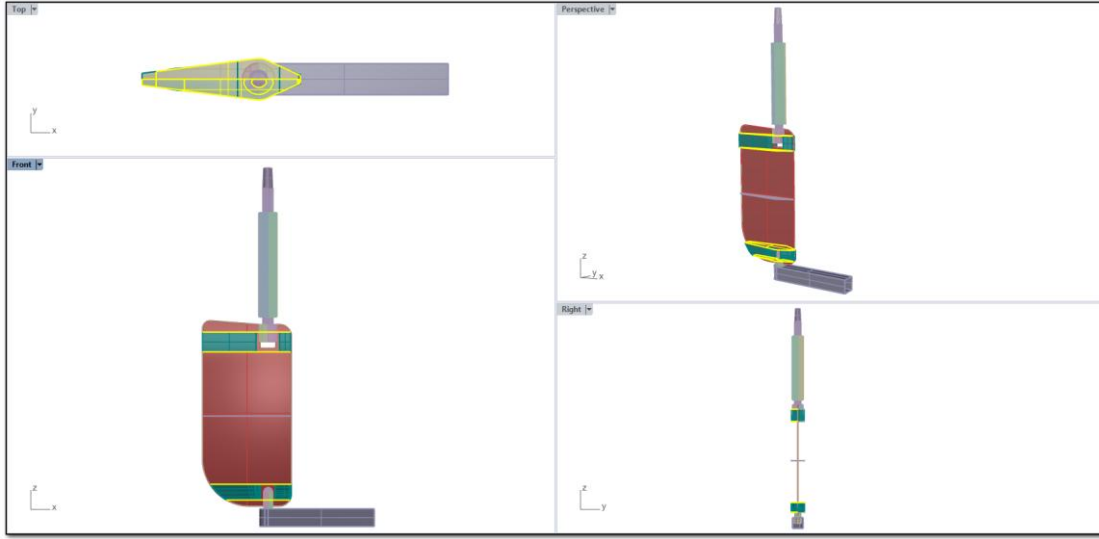


Şekil 60. Korkmazlar Balıkçılık 1 isimli balık avlama gemisi dümenleri

2.9. DMN-8 Ön Dizayn Hesapları ve Ana Boyutları

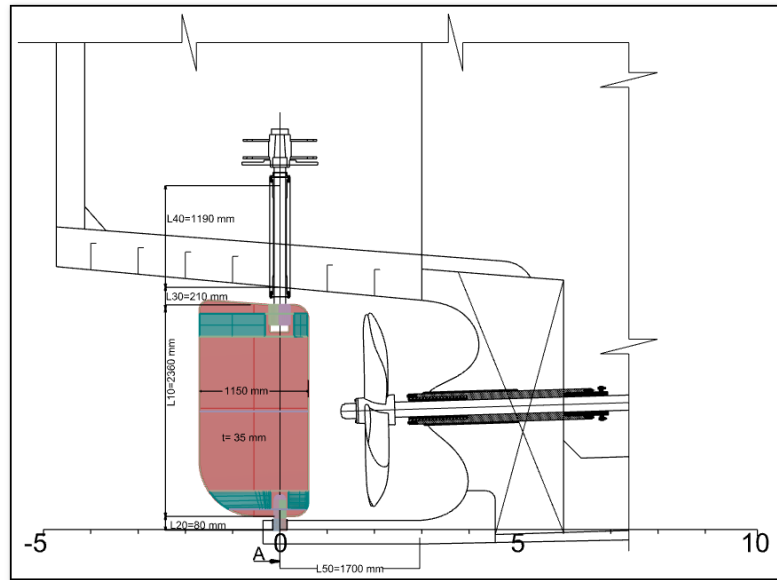
Yapılan farklı tasarım çalışmaları ve analizler sonucunda Türk Loydu’ndan onay alan ikinci model için elde edilen sonuçlar bu kısımda sunulmuştur. İkinci onaylanan model olarak, analizler mevcut üretilmiş “Mamati Hüseyin” isimli balık avcı gemisinin orta ve yan dümenlerindeki dümen yelpazesi ve rod bağlantısı tasarımı için yapılmıştır. Bu raporda DMN-8 Orta ve DMN-8 İskele-Sancak model dümen sistemlerinin analiz sonuçları sunulmuştur.

Kullanılacak dümen sisteminin teknik görünümü Şekil 61’de gösterilmiştir.



Şekil 61. Kullanılacak dümen sisteminin teknik görünümü

Dümen sistemi tekne kıç bağlantısı için örnek bir genel yerleşim planından alınmış kesiti aşağıdaki Şekil 62’de gösterilmiştir.



Şekil 62. Tekne-dümen bağlantısı genel görünümü

Dümen sistem bileşenleri ve kullanılan malzeme özellikleri ise aşağıda Tablo 17’de sunulmuştur.

Tablo 17. Dümen sistemi bileşenleri ve malzeme özellikleri

No	İsim	Malzeme															
1	Taşıyıcı Sehpa	A Grade Gemi İnşa Çeliği (Dış Tedarik)															
2	Salmastra Kutusu	Paslanmaz Çelik 304															
3	Cıvata	Paslanmaz A Grade															
4	Üst Yatak	Bronz															
5	Dümen Rodu	Paslanmaz Çelik Duplex 1.4462															
6	Kovan	Gemi İnşa Çeliği A Grade															
7	Alt Yatak	Bronz															
8	Göbek	Paslanmaz Çelik 304															
9	Kama	Paslanmaz Çelik 304															
10	Üst Feder Bloğu	Gemi İnşa Çeliği S355J0															
11	Dümen Yelpazesi	Gemi İnşa Çeliği S355J0															
12	Orta Feder	Gemi İnşa Çeliği S355J0															
13	Alt Feder Bloğu	Gemi İnşa Çeliği S355J0															
14	İğnecik	Paslanmaz Çelik 304															
15	İğnecik Yatağı	Paslanmaz Çelik 304															
16	Dümen Topuğu	A Grade Gemi İnşa Çeliği															
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th><th>Akma Gerilmesi (MPa)</th><th>Çekme Gerilmesi (MPa)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Paslanmaz Çelik 304</td><td>210</td><td>510</td></tr> <tr> <td>Paslanmaz Çelik Duplex 650</td><td>450</td><td></td></tr> <tr> <td>Gemi İnşa Çeliği A Grade</td><td>235</td><td>460</td></tr> <tr> <td>Gemi İnşa Çeliği S355J0</td><td>355</td><td>460</td></tr> </tbody> </table>				Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Paslanmaz Çelik 304	210	510	Paslanmaz Çelik Duplex 650	450		Gemi İnşa Çeliği A Grade	235	460	Gemi İnşa Çeliği S355J0	355	460
	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)															
Paslanmaz Çelik 304	210	510															
Paslanmaz Çelik Duplex 650	450																
Gemi İnşa Çeliği A Grade	235	460															
Gemi İnşa Çeliği S355J0	355	460															

2.9.1. Türk Loydu Dümen Kuvveti ve Dümen Burulması Hesabı

Dümen yelpaze kuvveti ve dümen rodu burulma momenti ve bunlara bağlı minimum rod çapı ve yelpaze kalınlığı hesabı Tablo 18’de sunulmuştur. Burulma momentinin elde edildiği örnek bir hesaplama da aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 18. DMN-8 Minimum rod çapı ve yelpaze kalınlığı hesabı

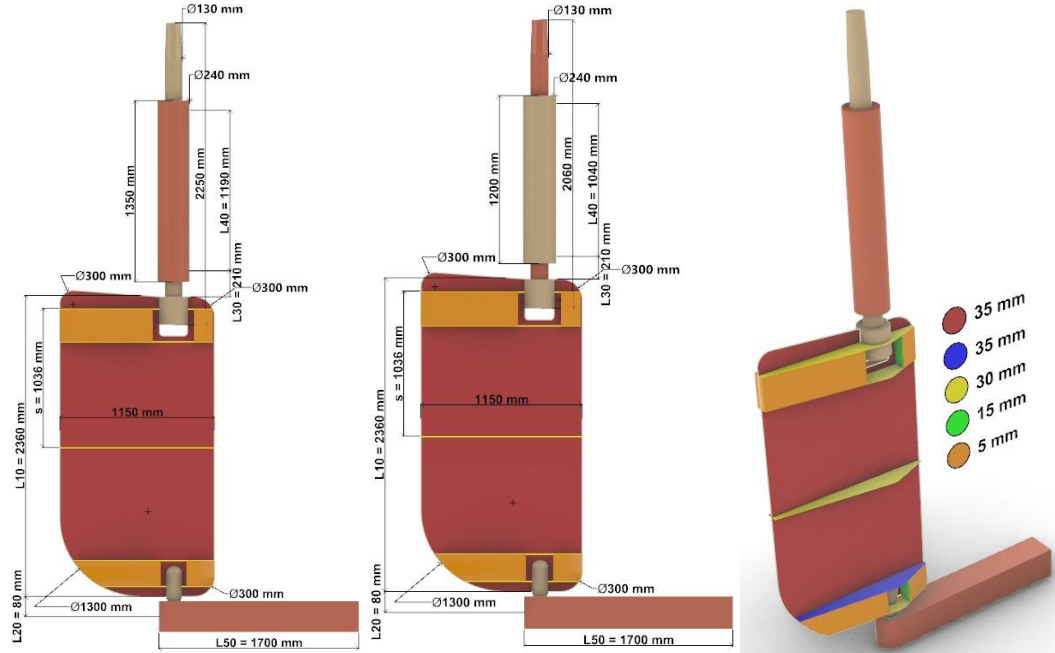
Formül-Değer	Açıklama	Sonuç DMN236 Orta	Sonuç DMN236 İskele/Sancak
$k_1=(\Lambda+2)/3$	Dümen yelpazesi kenar oranına bağlı katsayı	1,351	1,351
$\Lambda=b^2/A_t$	Kenar oranı	2,05	2,05
B [m]	Dümen yelpazesinin alanın ortalama yüksekliği	2,36	2,36
c [m]	Dümen yelpazesi alanının ortalama genişliği	1,15	1,15
A_t [m ²]	A+Dümen boynuzu alanı varsa	2,71	2,71
k_2	Dümen tipine ve dümen yelpazesine göre katsayı	1,00	1,00
k_3	Dümen yelpazesinin konumuna göre katsayı	1,00	1,00
Sabit değer	Sabit değer	132,00	132,00
A [m ²]	Dümen yelpazesinin alanı	2,71	2,71
V_0 [knot]	Gemi hızı	15,00	15,00
$C_R=132*A*k_1*k_2*k_3 V_0^2$ [N]	Dümen kuvveti	108876	108876
$r= c(a-k_b)$ [m]	Dümen kuvveti moment kolu mesafesi	0,110	0,110
c [m]	Dümen yelpazesi alanının ortalama genişliği	1,15	1,15
a	İleri hareket için katsayı	0,33	0,33
a	Tornistan hareketi için katsayı	0,66	0,66
$k_b=A_f/A$	Balans faktörü	0,26	0,26
A_f [m ²]	Dümen şaft ekseninin baş tarafında yer alan yelpaze alanı	0,71	0,71
A [m ²]	Dümen yelpazesinin alanı	2,71	2,71
$Q_R=C_R*r$ [Nm]	Dümen burulma momenti	12521	12521
Dümen Rodu Çapı ve Dümen Yelpazesi Kalınlığı			
$D_{tmin}=4,2*(Q_R*k_r)^{1/3}$ [mm]	Hesaplanan dümen rod çapı	80,18	80,18
k_r	Malzeme faktörü	0,61	0,61
$\sigma_{akma-rod}$ [MPa]	Kullanılacak rod malzeme akma değeri	450	450
M_B [Nm]	Boğaz yatağındaki eğilme momenti	38616	38616
D_t [mm]	Artırılmış dümen rod çapı	127,93	127,93
D [mm]	Kullanılan dümen rod çapı	130	130
s [m]	Federler arası mesafe	1,036	1,036
$T_b=1,5*s*V*(k_{yelpaze})^{0,5}+2,5$ [mm]	Hesaplanan dümen yelpaze kalınlığı	22,47	22,47
$\sigma_{akma-üst/orta feder}$ [MPa]	Kullanılacak üst/orta/alt feder ve topuk sacı	235	235
$\sigma_{akma-topuk}$ [MPa]	malzeme akma değeri		
$k_r-yelpaze$	Malzeme faktörü	0,73	0,73
$T_{yelpaze}$ [mm]	Kullanılan dümen yelpaze kalınlığı	35	35
$T_{b-üst/orta feder}$ [mm]	Kullanılan üst/orta feder kalınlığı	30	30
$T_{b-alt feder}$ [mm]	Kullanılan alt feder kalınlığı	35	35

Hesaplamalar sonucunda DMN-8 model dümenin analiz edilen boyutları aşağıdaki Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19. Dümen tipleri ve ana boyutları

Dümen Tipi	DMN236	DMN236
Özellik	Orta	İskele/Sancak
Yelpaze Yüksekliği (mm)	2360	2360
Yelpaze Genişliği (mm)	1150	1150
Yelpaze Kalınlığı-Üst Parça (mm)	60.0	60.0
Yelpaze Kalınlığı-Alt Parça (mm)	60.0	60.0
Yelpaze Kalınlığı-Orta Parça (mm)	35	35
Kullanılan üst/orta feder kalınlığı (mm)	30	30
Kullanılan alt feder kalınlığı (mm)	35	35
Kullanılan topuk sacı kalınlığı (mm)	25	25
Rod Uzunluğu (mm)	2250	2060
Rod Çapı (mm)	130	130
Kovan Yüksekliği (mm)	1350	1200
Kovan Dış Çapı (mm)	240	240

Buna göre, analiz için hazırlanan modeller aşağıdaki Şekil 63’te gösterilmiştir.

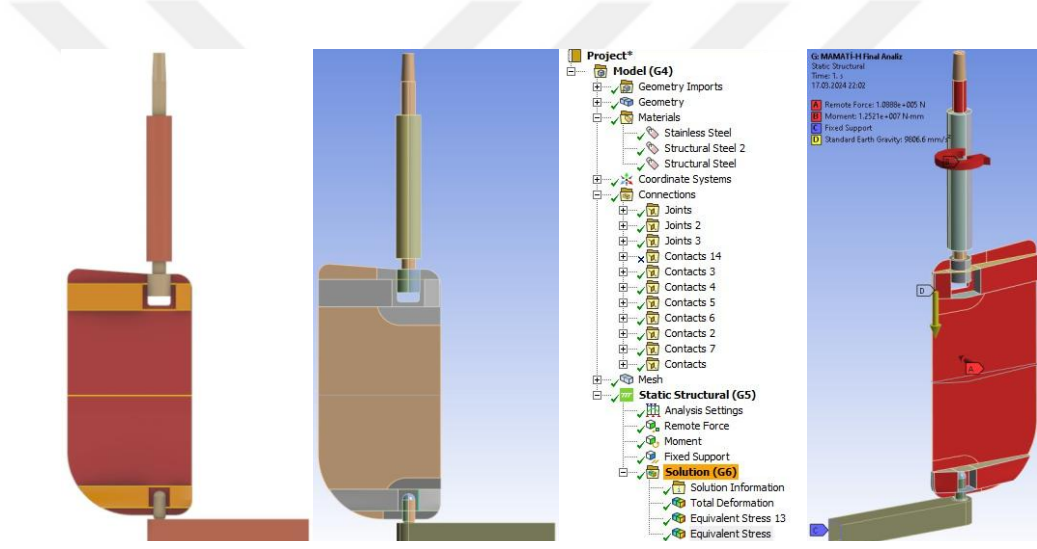


Şekil 63. DMN-8 Orta ve DMN-8 İskele/Sancak dümenlerin boyutlandırılmış gösterimi

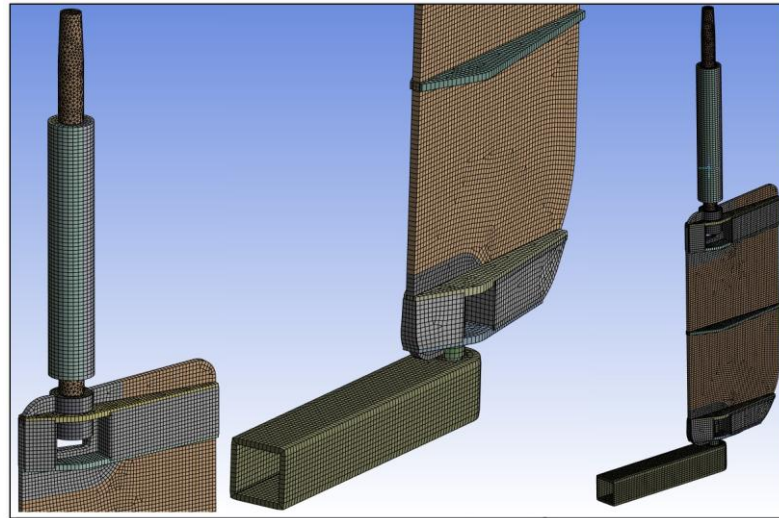
2.9.2. Sonlu Elemanlar Analizi (SEA)

- Ön Ayarlar

Çözüm süresini azaltmak ve dosya boyutunda tasarruf edebilmek amacıyla, analiz için Ansys programına aktarılan modelde, dümen yelpazesi, dümen rodu, dümen kovani, iğnecik ve iğnecik yatağı ile yelpazenin alt ve üst bağlantılarını destekleyen feder ve kaplinler kullanılmıştır. Diğer kısımlar sınır şartları kullanılarak temsil edilmişler ve rijit kabul edilmişlerdir. Hem malzeme hem de geometrik açıdan doğrusal statik analizler koşturulmuştur. Analiz ön ayarları Şekil 64'te ve modelin mesh (ağ örgüsü) atanmış hali Şekil 65'te verilmiştir.



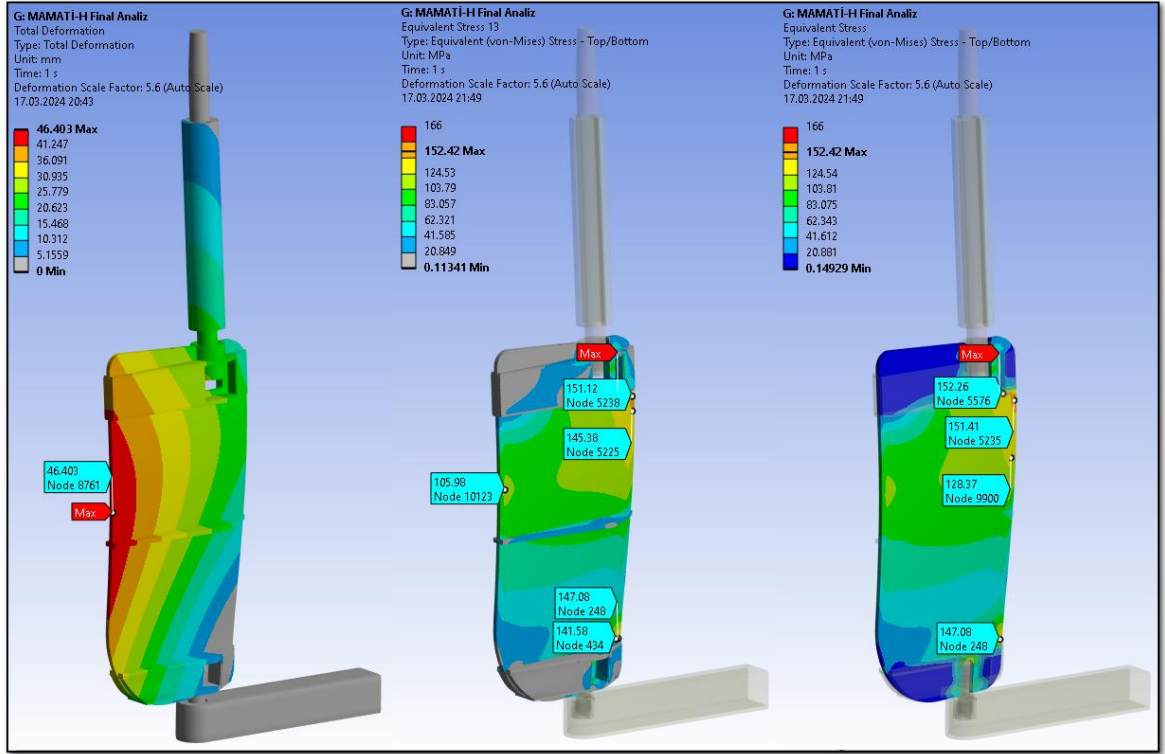
Şekil 64. Analiz 3D ve Ansys modeli, sınır şartları ve yükleme ayarları



Şekil 65. Ağ yapısı atanmış model (mesh)

- 3B Katı Model SEY Analizleri

Yelpaze boyutları sabit, dümen rod ve kovan uzunlukları farklı iki model için (Orta Dümen ve İskele-Sancak Dümen) sonuçlar önce şekillerle daha sonra da limit değerler ile karşılaştırmalı olacak şekilde Tablo 20’de, yelpaze kısmı için toplam deformasyon, von-Mises eşdeğer gerilmesi ($\sigma_{y/p-eqv}$) dağılım değerleri Şekil 66’da sunulmuştur.



Şekil 66. Yelpaze kısımları von-Mises eşdeğer gerilmesi ve toplam deformasyon dağılımı

Tablo 20. Karşılaştırmalı gerilme değeri sonuçları

	Hesaplanan Değerler (MPa)		Limit Değerleri (MPa)			Genel Uygunluk Durumu
	Max. von-Mises Eşdeğer Gerilmesi	Max. Kayma Gerilmesi	Malzeme Akma Gerilmesi	Türk Loydu Eşdeğer Gerilme Limiti	Türk Loydu Kayma Gerilmesi Limiti	
Tüm Model	152,42	20,101	355/450	166	50	Uygun
Yelpaze	152,42	9,350	355	166	50	Uygun

Bu dümenin imalat sonrası fotoğrafı Şekil 67’de aşağıda sunulmuştur.



Şekil 67. Mamati Hüseyin isimli balık avlama gemisi dümenleri

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnşa edilen Karadeniz tipi balıkçı gemilerinde kullanılan dümenler için herhangi bir hesaplama veya yapısal analiz yapılmamış ve herhangi bir klas kuruluşu tarafından incelenmemiştir. 24 metreden büyük balıkçı teknelerinin tekne kontrolleri klas kuruluşları tarafından yapılmaktadır. Bu özellikteki teknelerde kullanılan dümenler için tekne sahiplerinin gereksinimlerini ve Türk Loydu klas kuralları gerekliliklerini karşılayabilecek bir tasarıma ihtiyaç duyulmuştur.

Bu tez çalışmasında, Karadeniz tipi balıkçı teknelerinde kullanılmak üzere bir dümen rod ve dümen yelpaze tasarımı oluşturulması ve yapısal analiz sonuçlarının Türk Loydu klas kurallarına uygunluğunun onaylatılması hedeflenmiş ve bu amaç doğrultusunda Bölüm 2’de geliştirilmiş olan 8 farklı yelpaze modelinin, farklı analiz parametreleri kullanılarak Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) kullanılan Ansys programında doğrusal statik yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Modellerin analizleri sonucunda hesaplanan gerilme değerleri ve Türk Loydu limit gerilme değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Klas kuruluşu direktifleri dışında geliştirilen yeni tasarımların onay alabilmesi için özellikle yelpazenin yüzeyinin normali doğrultusunda etki eden dümen kuvveti ve dümen roduna etki eden burulma momenti altında yapısal olarak dayanımı, doğrudan hesaplama ve analiz yöntemleri (Sonlu Elemanlar Yöntemi vb.) kullanılarak global ve lokal deformasyon ve gerilmeleri belirlemiş ve karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Yükleme modeli olarak, dümen yelpazesinin yüzey normali yönünde “Dümen Kuvveti” ve dümen roduna uygulanan ve dümen kuvveti yönünde dönme etkisi yaratan “Dümen Burulma Momenti” uygulanmıştır. Sınır şartı olarak, topuk bitimi ankastre mesnet uygulanmıştır. Ayrıca, rodun üst kısmı, göbek ve iğnecik gibi birleşim kısımlarında “Joint” tipi temas uygulanmıştır. Birbirine temas eden diğer parçalarda “Contact-Target” tipi temaslar uygulanmıştır. Tüm modeller içinde yükleme ve sınır şartları benzer şekilde uygulanmıştır. Geliştirilen 8 farklı modelin son 2 tanesi Türk Loydu klas kuruluşu tarafından onaylanmıştır. Onaylanan modellerin üretimi gerçekleştirilmiş olup gemilere montajları gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen tüm modeller için karşılaştırmalı gerilme değeri sonuçları ve TL onay durumları Tablo 21’de sunulmuştur.

Model tasarım sürecinde öncelikle balıkçı teknelerinde mevcut kullanılan dümen tasarımından ve Türk Loydu kural kitabındaki direktiflerden faydalanılarak ilk model

oluşturulmuştur. Her bir model Rhinoceros programında modellenmiş, ardından da analiz için ANSYS paket programına aktarılmıştır. Gerilme değerleri kabul edilebilir seviyeye getirilinceye kadar model geliştirilmeye devam edilmiştir. Analiz sırasında tasarımın kritik noktaları belirlenmiştir. Model analizleri sonucunda belirlenen tasarım için kritik kabul edilen kısımların, kullanılan mevcut modeller üzerinde daha önce ortaya çıkan deformasyon bölgeleriyle uyduğu tespit edilmiştir. Modeller geliştirilirken yapılan malzeme değişiklikleri, bölgesel kalınlık artışları, destek elemanlarının konumu ve benzeri değişiklikler belirlenen kritik bölgeleri iyileştirecek şekilde yapılmıştır. Yapısal değişiklikler yapılırken malzeme kalınlığı ve kalitesi, seçilen malzemenin temini, bu malzemelerin işçiliği için nitelikli elemanın mevcudiyeti vb. birçok başka konunun da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Dümen tasarım ve imalat süreci ile ilgili ayrıntılı bir maliyet hesabı yapılmamış olsa da uygulaması zor ve maliyetli değişikliklerden uzak durulmuştur.

Türk Loydu kitabında 24 metreden büyük balıkçı tekneleri için özelleştirilmiş bir dümen yelpaze tasarımı bulunmamaktadır. Geliştirilmiş ve onaylatılmış dümen model tasarımları ve bu modellerin başka boyutları için de analizler yapıp elde edilen sonuçlarla Türk Loydu kural kitabına ilave edilmesi için çalışma yürütülebilir. Nihai olarak, mukavemet açısından yapısal uygunluğu olan ancak ekonomiklik ve uygulanabilirlik açısından uygun olmayan senaryolar dahil her açıdan uygun bulunup onaylanan ve tez sürecinde uygulamaya koyulan modellere kadar çalışılan tüm senaryoların sonuçları Tablo 21’de sunulmuştur.

Tablo 21. Geliştirilen tüm modeller için karşılaştırmalı gerilme değeri sonuçları ve TL onay durumları

		Hesaplanan Değerler (MPa)		Limit Değerleri (MPa)			Genel Uygunluk Durumu	TL Onay Durumu
		Max. von-Mises Eşdeğer Gerilmesi	Max. Kayma Gerilmesi	Malzeme Akma Gerilmesi	TL Eşdeğer Gerilme Limiti	TL Kayma Gerilmesi Limiti		
DMN240-1	Tüm Model	164,590	58,087	235/210	235/210	235/210	Uygun	Onaylı Değil
	Rod	109,340	48,056	210	120	50	Uygun	
	Yelpaze	96,119	18,267	235	120	50	Uygun	
DMN240-2	Tüm Model	143,630	39,447	235/210	235/210	235/210	Uygun	Onaylı Değil
	Rod	103,510	28,745	210	120	50	Uygun	
	Yelpaze	108,830	21,517	235	120	50	Uygun	
DMN240-3	Tüm Model	134,590	47,979	235/210	235/210	235/210	Uygun	Onaylı Değil
	Rod	108,680	23,111	210	120	50	Uygun	
	Yelpaze	76,729	18,856	235	120	50	Uygun	
DMN-TL	Rod Hariç Tüm Model	137,15	12,265	235	120	50	Uygun	Onaylı Değil
	Rod	105,61	3,780	235	120	50	Uygun	
DMN-2	Rod Hariç Tüm Model	441,88	22,145	235	120	50	Uygun Değil	Onaylı Değil
	Yelpaze	413,03	7,370	235	120	50	Uygun Değil	
DMN-3	Rod Hariç Tüm Model	552,73	18,235	235	120	50	Uygun Değil	Onaylı Değil
	Yelpaze	221,02	5,322	235	120	50	Uygun Değil	
DMN-4	Rod Hariç Tüm Model	316,93	20,630	235	120	50	Uygun Değil	Onaylı Değil
	Yelpaze	218,69	6,420	235	120	50	Uygun Değil	
DMN-5	Rod Hariç Tüm Model	238,48	15,450	235	120	50	Uygun Değil	Onaylı Değil
	Yelpaze	180,14	5,780	235	120	50	Uygun Değil	
DMN-6	Rod Hariç Tüm Model	235,94	22,145	355/450	120	50	Uygun Değil	Onaylı Değil
	Yelpaze	413,03	7,370	355	120	50	Uygun Değil	
DMN-7	Tüm Model	165,25	12,145	355/450	166	50	Uygun	Onaylı
	Yelpaze	165,25	7,370	355	166	50	Uygun	
DMN-8	Tüm Model	152,42	20,101	355/450	166	50	Uygun	Onaylı
	Yelpaze	152,42	9,350	355	166	50	Uygun	

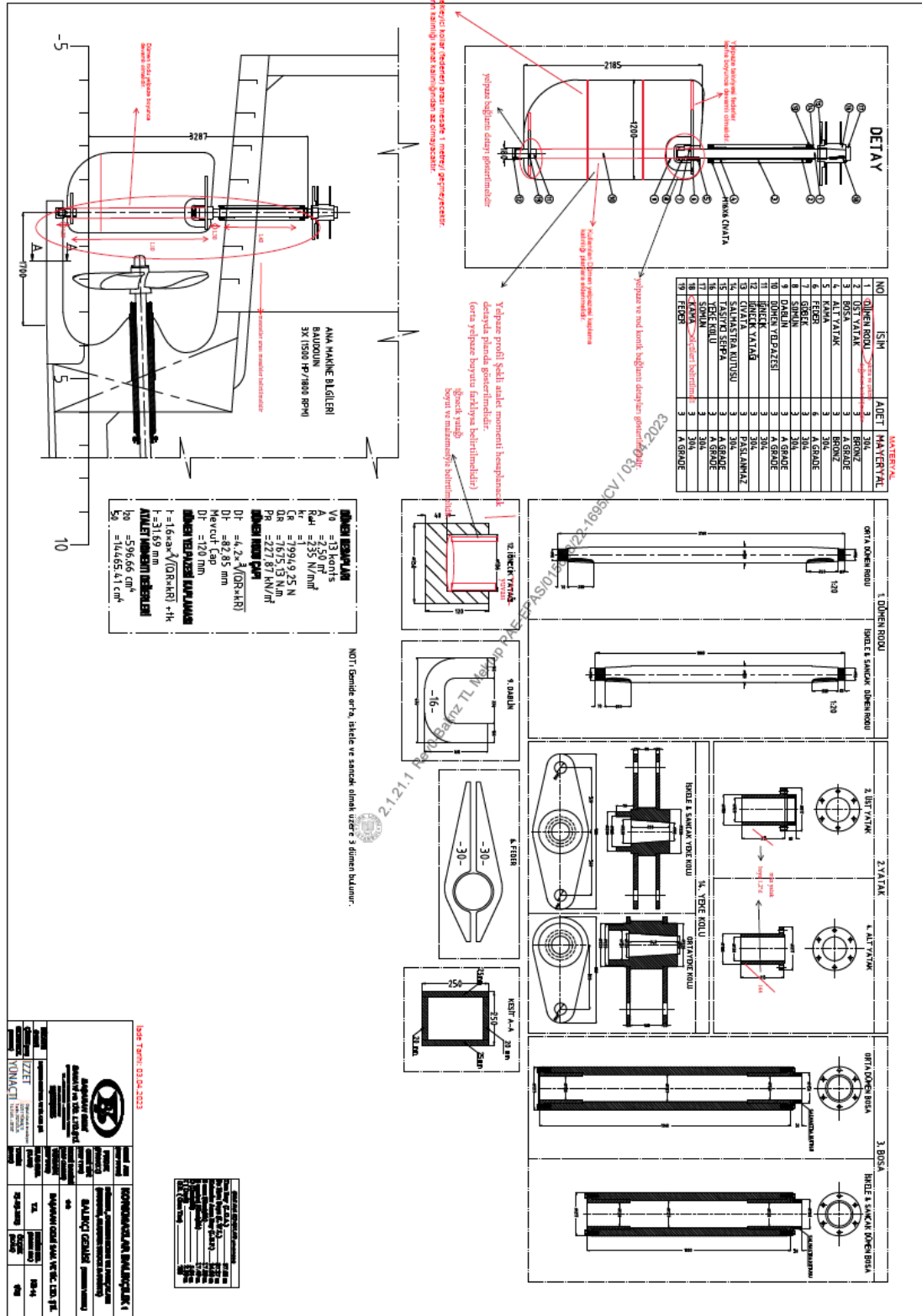
4. KAYNAKLAR

- Alaimo, A., Milazzo, A., & Tumino, D. (2012). Modal and structural FEM analysis of a 50 ft pleasure yacht. *Applied Mechanics and Materials*, 215, 692-697.
- Bai, L., Shen, R., Wang, L., Wang, Y., & Miao, R. (2018). Experimental and numerical study on buckling behavior of a rigidly stiffened plate with tee ribs. *International Journal of Steel Structures*, 18, 582-595.
- Choi, H., Kwon, S. Y., Kim, S. H., & Kim, I. T. (2023). Study on the Manoeuvring Performance of a Fishing Vessel Based on CFD Simulation of the Hull Forms and Rudder Shapes. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 37(4), 129-136.
- Degu, Y. M. (2014). Redesigning the rudder for Nigat boat. *The international Journal of Engineering and Science*, 3(1), 1-9.
- Feng, L. I., Hongbin, H. U., Banghua, L. I., & Shuhui, J. I. A. N. G. (2020). Current development and technology status of high performance rudders. *Chinese Journal of Ship Research*, 15(3), 61-74.
- Fernandez, R., Lazakis, I., Theotokatos, G., & Boulougouris, E. (2016, October). Tanker ship structural analysis for intact and damage cases. In *International Conference of Maritime Safety and Operations 2016*.
- Hughes, T. J. (2003). *The finite element method: linear static and dynamic finite element analysis*. Courier Corporation.
- Iqbal, J., & Shifan, Z. (2018). Modeling and simulation of ship structures using finite element method. *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*, 12(7), 942-948.
- Kim, H. J., Kim, S. H., Oh, J. K., & Seo, D. W. (2012). A proposal on standard rudder device design procedure by investigation of rudder design process at major Korean shipyards. *Journal of Marine Science and Technology*, 20(4), 13.
- Korbetis, G., & Georgoulas, D. (2012). Multi-Objective Design Optimization of a Rudder, using Automated CAE Model Set-Up with ANSA Pre-Processor, BETA CAE Systems S.A., COMPIT 2012, April 16-18, 2012, Liege, Belgium.
- Liu, J., Quadvlieg, F., & Hekkenberg, R. (2016). Impacts of the rudder profile on manoeuvring performance of ships. *Ocean engineering*, 124, 226-240.
- Liu, J., & Hekkenberg, R. (2017). Sixty years of research on ship rudders: effects of design choices on rudder performance. *Ships and offshore structures*, 12(4), 495-512.
- Lübke, L., & Potsdam Model Basin. (2009). Investigation of a semi-balanced rudder. *Ship Technology Research*, 56(2), 69-86.
- Molland, A. F., & Turnock, S. R. (2011). *Marine rudders and control surfaces: principles, data, design and applications*. Elsevier.

- Molland, A. F. (2017). Rudder Types and Applications. Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering, 1-14.
- Molland, A. F., & Turnock, S. R. (2021). Marine rudders, hydrofoils and control surfaces: Principles, data, design and applications. Butterworth-Heinemann.
- Mott, L. V. (1991). *The development of the rudder, AD 100-1600: a technological tale* (Doctoral dissertation, Texas A&M University).
- Mott, L. V. (1997). The development of the rudder: a technological tale (No. 3). Texas A&M University Press.
- Mukundan, H. (2002). Finite Element Analysis of a Rudder. Project work done for the partial fulfilment For Bachelor of Technology in Naval Architecture and Ocean Engineering, Indian Institute of Technology, Madras.
- Nugroho, A., Nubli, H., Prabowo, A. R., & Yudo, H. (2020). Finite element based analysis of steering construction system of orca class fisheries inspection ship. *Procedia Structural Integrity*, 27, 46-53.
- Resmi Gazete. (2015) Gemi ve Su Araçlarının İnşa, Tadilat ve Bakım Onarım Yönetmeliği. Cumhurbaşkanlığı Basımevi 29525.
- Tanny, T. T., Akter, N., & Amin, O. M. (2017, December). Finite element analysis of container ship's cargo hold using ANSYS and POSEIDON software. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1919, No. 1). AIP Publishing.
- Thieme, H. (1965). Design of ship rudders. University of Hamburg, Shipbuilding Institute, Germany, Published by: David Taylor Model Basin, Department of the Navy, Washington DC, USA, Translation 321, Çeviri: EN Labouvie.
- Türk Loydu. (2001). Türk Loydu Kuralları Cilt C-Kısım 14-Balıkçı Gemileri. Türk Loydu Vakfı.
- Türk Loydu. (2023). Türk Loydu Kuralları Kısım 1-Tekne Yapım Kuralları. Türk Loydu Vakfı.
- <https://www.turkloydu.org/tr/sinirlendirma-kurallari>
- Zhao, N., Chen, B. Q., Zhou, Y. Q., Li, Z. J., Hu, J. J., & Soares, C. G. (2022). Experimental and numerical investigation on the ultimate strength of a ship hull girder model with deck openings. *Marine Structures*, 83, 103175.

5. EKLER

Ek 1. Dümen sistemi mevcut TL Remarklı



Ek 2. Türk Loydu Kuvvet Hesabı-Doğrulama

Rudderv.1.5h

File: C:\epas\nis5\balıkcı-basaran-dumen.rud

Ship Name:

26.03.2024

BLADE - GEOMETRY & FORCES

GEOMETRY RESULTS

	Cross sectional area (m2)	Mean height Hmean (m)	Mean breadth Bmean (m)
Area A (full blade)	2.880 000	2.400	1.200
Area AF (afore the stock axis) .	0.720 000	--	--
Area AT = A + rudder post or horn area . . .	2.880 000 (m2)		

LEVER ARMS

	Ahead Condition	Astern Condition
Lever r (m)	0.12	0.49

APPLIED FORCES

navigation coefficient η_R	1.00	
coefficient r_3	1.00	
	Ahead Condition	Astern Condition
speed	15.00	7.50
coefficient r_1	1.33	1.33
coefficient r_2	1.00	1.00
Rudder Force CR acting on full blade (N)	114 048.00	28 512.00

Rudderv.1.5h
File: C:\epas\inis5\balıkcı-basaran-dumen.rud

Ship Name:
26.03.2024

RUDDER STOCK DIAMETER

- Direct Calculation -

Stock material (Yield / Tensile) 210 / 400 (N/mm2)
Stock standard material (Yield) 235 (N/mm2)
Material factor k1 1.12

Direct Calculation Results

	Ahead Condition	Astern Condition
Bending moment MB (N.m)	46 545.96	11 636.49
Bending moment MR (N.m)	25 769.63	6 442.41
Support force FA1 (N)	44 793.54	11 198.38
Support force FA2 (N)	117 739.80	29 434.96
Support force FA3 (N)	48 485.38	12 121.34

Stock Diameter Results

	Ahead Condition	Astern Condition
Rudder stock bending moment (N.m)	46 545.96	11 636.49
Rudder torque (N.m)	13 685.76	14 027.91

	Ahead Condition		Astern Condition	
	DLower	DUpper	DLower	DUpper
Basic Stock Diameter	160.17	100.46	112.90	101.29
Rule Stock Diameter (1)	166.29	104.30	117.22	105.16
(1) all corrections taken into account (material, serv. notation, etc.)				

	Actual value (mm)	Rule value (mm)
Stock diameter at the lower bearing level	120.00 *	166.29
Stock diameter at the upper bearing level	120.00	105.16
* not allowable		

Rudder Stock Lower Bearing

Actual bearing inner diameter dm 0.12 (m)
Actual bearing length hm 0.12 (m)

	Ahead Conditions	Astern Conditions	Rule value
Support Force Fa acting on the bearing (N)	117 739.800	29 434.960	-
Mean Bearing Pressure (N/mm2)	8.176*	2.044	7.000

	Actual	Max Rule
Length/diameter ratio of the bearing surface	1.00	1.20
Rule bearing clearance (metallic supports)		1.000 (mm)
Rule bearing clearance (non-metallic supports)		1.50 (mm)
Rule minimum thickness of liner and bush		8.000 (mm)

Rudderv.1.5h
 File: C:\epas\nis5\balıkcı-basaran-dumen.rud

Ship Name:
 26.03.2024

Rudder Stock Upper Bearing

Actual bearing inner diameter dm 0.12 (m)
 Actual bearing length hm 0.12 (m)

	Ahead Conditions	Astern Conditions	Rule value
Support Force Fa acting on the bearing (N)	48 485.380	12 121.340	-
Mean Bearing Pressure (N/mm2)	3.367	0.842	7.000

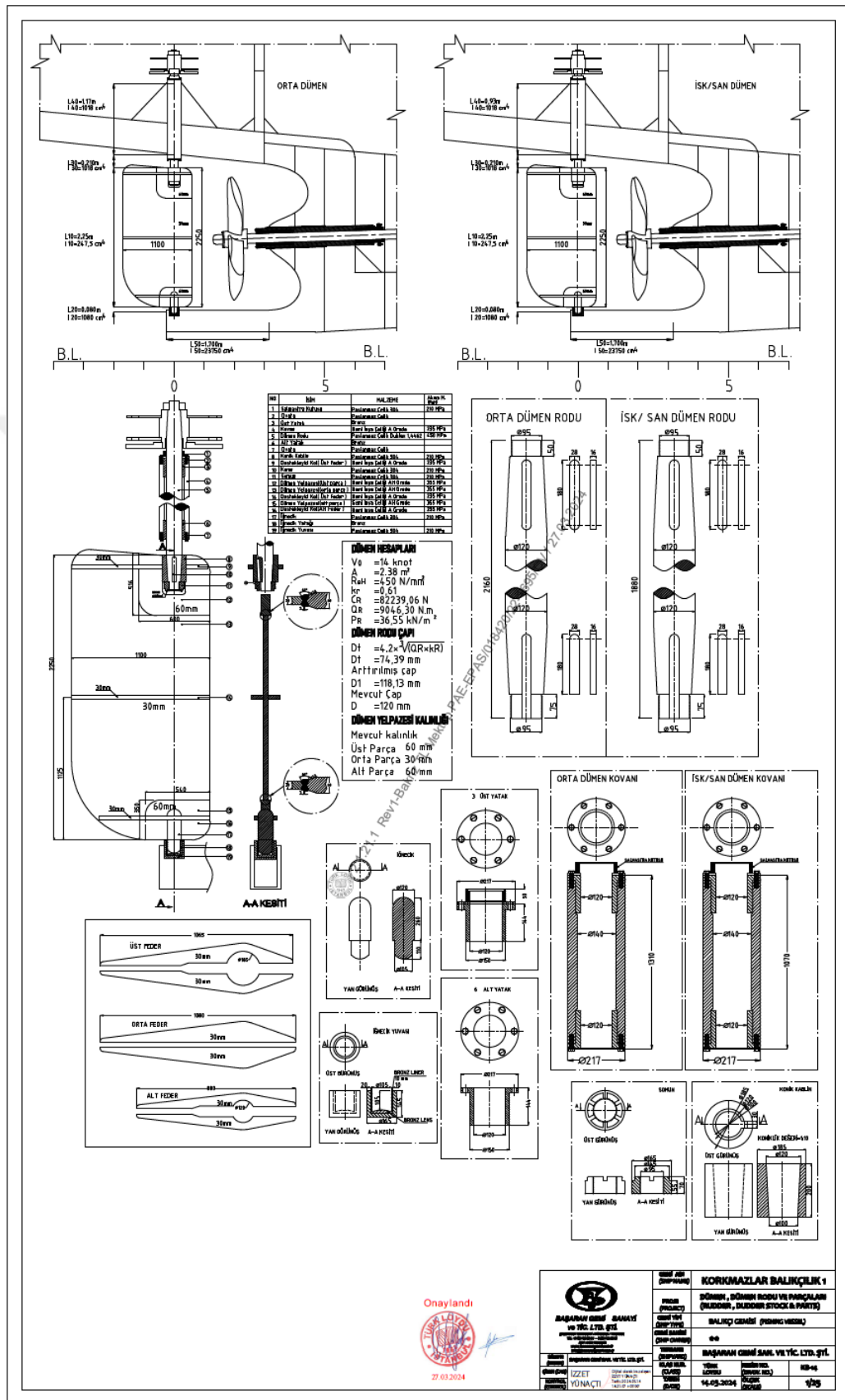
	Actual	Max Rule
Length/diameter ratio of the bearing surface	1.00	1.20

Rule bearing clearance (metallic supports) 1.000 (mm)

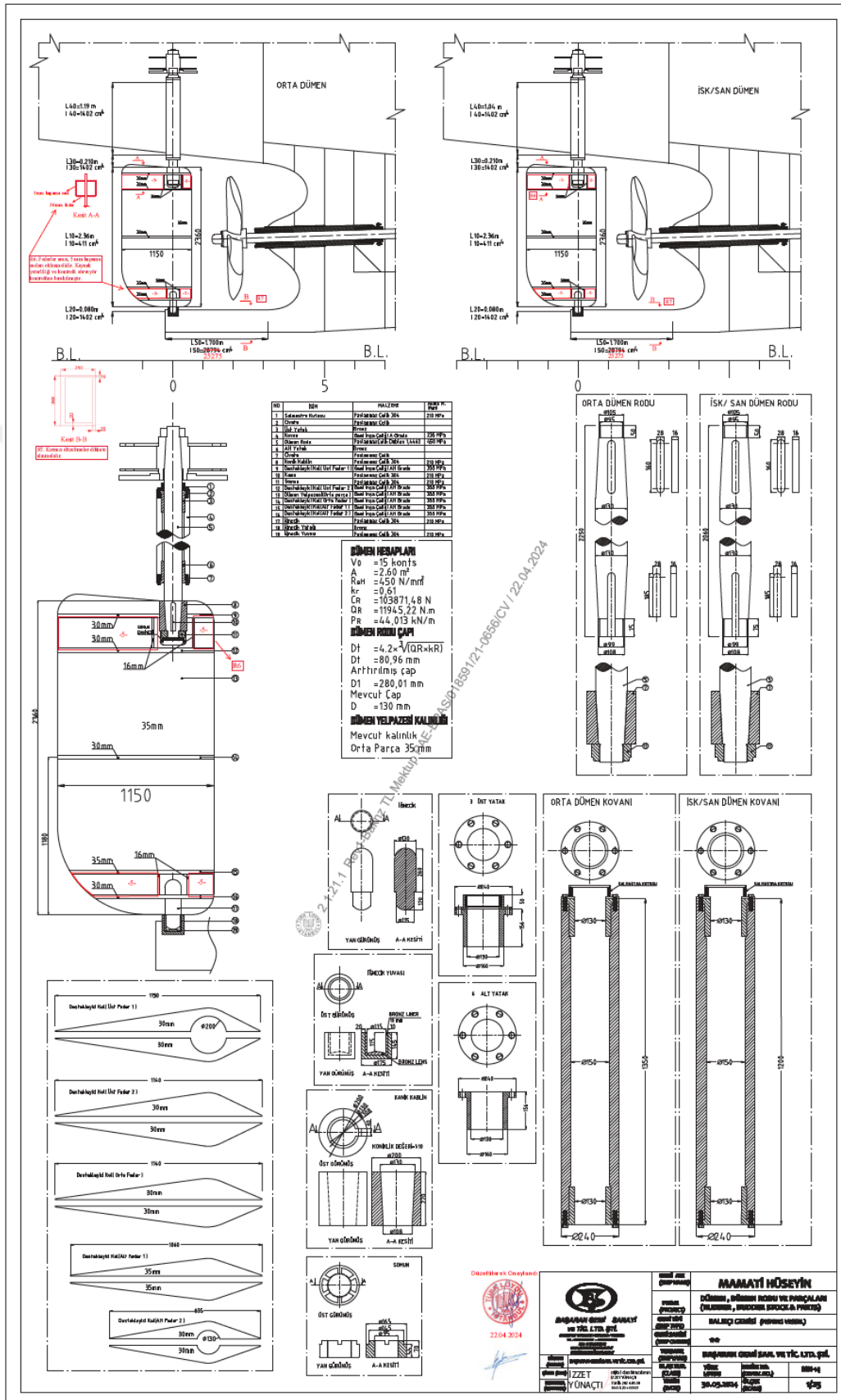
Rule bearing clearance (non-metallic supports) 1.50 (mm)

Rule minimum thickness of liner and bush 8.000 (mm)

Ek 3. Korkmaz Balıkçılık 1 dümen onay resmi



Ek 4. Mamati Hüseyin dümen onay resmi



ÖZGEÇMİŞ

İlköğretim eğitimini Çamburnu Ortaokulu'nda, lise öğrenimini Hasan Sadri Yetmişbir Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği bölümüne başladı ve 2019 yılında bölüm birincisi ve onur öğrencisi olarak lisans eğitimini başarıyla tamamladı. 2018 yılında Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümüne kayıt yaptırarak ikinci üniversite eğitimine başladı ve 2022 yılında bu programdan mezun oldu. 2019 yılında Gemi Mühendisleri Odası tarafından Serbest Gemi Mühendisliği yetkisi tescillendi. 2021 yılında Gemi Kontrolüne Yetkili Mühendis belgesini aldı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2022 yılında Tersaneler ve Kıyı Yapıları Müdürlüğü'nden Gaz Ölçüm Uzmanı Yetki Belgesini aldı. 2019 yılından itibaren özel sektörde Gemi Mühendisi olarak görev yapmakta ve birçok projede aktif rol almaktadır. AutoCAD, Rhinoceros ve Maxsurf gibi gemi inşaatında kullanılan yazılımlarda ileri düzey bilgiye sahiptir. Yabancı dili İngilizcedir.