



**DALGA ENERJİSİ ÇEVİRİCİSİ (DEÇ) SİSTEMİNİN
TASARIMI, KİNEMATİK ANALİZİ VE HESAPLAMALI
AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) YÖNTEMİ İLE
ANALİZİNİN YAPILMASI**

DOKTORA TEZİ

EMRE KAYGUSUZ

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
ARALIK - 2022**

**DALGA ENERJİSİ ÇEVİRİCİSİ (DEÇ) SİSTEMİNİN
TASARIMI, KİNEMATİK ANALİZİ VE HESAPLAMALI
AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) YÖNTEMİ İLE
ANALİZİNİN YAPILMASI**

DOKTORA TEZİ

EMRE KAYGUSUZ
ORCID ID: 0000-0001-9356-2149

MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. HÜSEYİN MUTLU
ORCID ID: 0000-0002-4770-2873

MERSİN
ARALIK - 2022

ÖZET

Dalga Enerjisi Çeviricisi (DEÇ) Sisteminin Tasarımı, Kinematik Analizi ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Yöntemi ile Analizinin Yapılması

Bu çalışmada, ülkemizin kıyı şeritlerinde kullanılması amacıyla, deniz dalga enerjisini elektrik enerjisine dönüştürecek, birbirine ardışık düzende çalışabilen hareketli şamandıra tipi dalga enerjisi çevirici (DEÇ) ünitelerinden oluşan bir mikro-elektrik güç üretimi sisteminin kinematik analizi, Hesaplamalı Akışkan Dinamiği (HAD) analizi, prototip üretimi ve prototipin teorik analizlerle kıyaslaması önerilmektedir. Sistemde, dalga enerjisinin sahip olduğu potansiyel ve kinetik enerji mekanik harekete dönüştürülerek bir volan yardımıyla doğrudan elektrik üretilmesi amaçlanmaktadır. Doğrudan elektrik üretilmesi, ek teçhizat ihtiyacını ortadan kaldırarak maliyeti azaltmaktadır. Dalga enerjisini hareket enerjisine dönüştüren mekanizma sistemi olarak, doğrusal yörüngeli bir krank-biyel mekanizmasının biyel kolunun ucuna bağlanmış ve periyodik dalga hareketine göre aşağı yukarı hareket eden yüzen bir cisim ile bu koldan gelen aşağı yukarı hareketi tek yönlü olarak dönme hareketine dönüştüren özgün bir kol ve dişli mekanizma sistemi ile dönen mile eklenmiş uygun kütleli bir volan kullanılmıştır. Dalgadaki potansiyel ve bir miktar kinetik enerji volanda depolanmış ve bu enerji bir alternatör yardımı ile elektrik enerjisine dönüştürülmüştür. Bu çalışmada 4 adet farklı hacim ve geometriye sahip yüzer cisim tasarımı, Dalga Enerjisi Çevirici sisteme entegre edilmiş, bilgisayar ortamında modellenen deniz dalgası ortamında HAD analizleri ve yapısal analizleri yapılmış ve sistemin çalıştığını gösteren bir prototip imal edilmiştir. Sistemin atölye ortamında öngörüldüğü gibi çalıştığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dalga Enerjisi Çevirici, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, HAD, Bilgisayar Destekli Dizayn, Yenilenebilir Enerji

Danışman: Doç. Dr., Hüseyin Mutlu, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi, Mersin.

ABSTRACT

Design, Kinematic Analysis and Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis of the Wave Energy Converter (WEC) System

In this study, kinematic analysis, Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis, prototype of a micro-electric power generation system consisting of mobile buoy type wave energy converter (DEC) units that can convert sea wave energy into electrical energy and operate in tandem with each other for use on the coastlines of our country. Production and comparison of the prototype with theoretical analysis is recommended. In the system, it is aimed to produce electricity directly with the help of a flywheel by converting the potential and kinetic energy of the wave energy into mechanical motion. Generating electricity directly reduces the cost by eliminating the need for additional equipment. As a mechanism system that converts wave energy into motion energy, a floating buoy connected to the end of the connecting rod of a linear orbit crank-connecting rod mechanism and moving up and down according to the periodic wave motion, and a unique arm and gear that converts the up and down motion coming from this arm into a rotational motion in a one-way direction. A flywheel of suitable mass is used, which is attached to the rotating shaft with the mechanism system. The potential and some kinetic energy in the wave were stored in the flywheel and this energy was converted into electrical energy with the help of an alternator. In this study, floating buoy design with 4 different volumes and geometries had integrated into the Wave Energy Converter system, CFD analyzes and structural analyzes were made in the sea wave environment modeled in the computer environment and a prototype was produced showing that the system was working. It has been observed that the system works as predicted in the workshop environment.

Keywords: Wave Energy Converter, Computational Fluid Dynamics, CFD, Computer Aided Design, Renewable Energy

Advisor: Associate Professor, Hüseyin Mutlu, Department of Mechanical Engineering, University of Mersin, Mersin.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında her türlü desteği sağlayan danışman hocam Doç. Dr. Hüseyin Mutlu'ya teşekkür ediyorum.

Makine mühendisi Mücahit Horan'a katkıları için teşekkür ediyorum.

Eşim Özlem Kaygusuz'a ve tüm aileme teşekkür ediyorum

Bu tez çalışması, TÜBİTAK tarafından, 2180834 numaralı proje ile desteklenmiştir.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) Sistem Tasarımlarının Türleri	3
1.1.1. Sönümleyici	4
1.1.2. Nokta Absorblayıcı	5
1.1.3. Sonlandırıcı	6
1.1.4. Salınımlı Dalga Kabarması Çevirici	6
1.1.5. Daldırılmış Basınç Farkı	6
1.1.6. Dalga Şişkinliği	7
1.1.7. Dönen Kütle	8
1.1.8. Diğer DEÇ sistemler	8
1.2. Tezin Amacı	8
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	10
3. MATERYAL ve YÖNTEM	12
3.1. Tasarım	12
3.2. Akış Analizleri	18
3.2.1. 1. Yüzer cisme Y ekseninde etkiyen kuvvetler	29
3.2.2. 1. Yüzer cisme Z ekseninde etkiyen kuvvetler	31
3.3. Farklı Duba Geometrilerinin akış analizlerine etkisi	33
3.3.2. 2. Yüzer cismin akış analizlerine etkisi	33
3.3.1.2. 2. Yüzer cisme Y ekseninde etkiyen kuvvetler	40
3.3.1.3. 2. Yüzer cisme Z ekseninde etkiyen kuvvetler	42
3.3.2. 3. Yüzer cismin akış analizlerine etkisi	44
3.3.2.1. 3. Yüzer cisme Y ekseninde etkiyen kuvvetler	50
3.3.2.2. 3. Yüzer cisme Z ekseninde etkiyen kuvvetler	52
3.3.3. 4. Yüzer cismin akış analizlerine etkisi	54
3.3.3.1. 4. Yüzer cisme Y ekseninde etkiyen kuvvetler	63
3.3.3.2. 4. Yüzer cisme Z ekseninde etkiyen kuvvetler	65
3.4. Yapısal Analizler	67
3.4.1. Mekanik Kolun Yapısal Analizleri	67
3.4.1.2. HAD analizleri sonucu elde edilen ve dalga etkisi ile oluşan maksimum kuvvetlere göre yapılan yapısal analizler	69
3.4.2. Ara Kolun yapısal analizi	72
3.4.3. Kramayer Dişlinin yapısal analizi	74
3.4.4. Yüzer Cismin Yapısal Analizi	77
3.5. Kinematik Analizler	79
3.5.1. Dalga Enerjisi Çeviricisi (DEÇ) Sisteminin Dalga Hareketini Aktarma Mekanizması Kinematik Çalışması	79
3.6. Prototip İmalat ve Montaj Fotoğrafları	94
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	99
4.1. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin HAD Analiz Sonuçları	99
4.2. Yüzer Cisim ve Bağlantı Noktalarına etkiyen kuvvetler	107

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	110
KAYNAKLAR	111
ÖZGEÇMİŞ	116



TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1. HAD analizlerinde kullanılan deniz dalgası modeli için uygulanan parametrelerin gösterimi	18
Tablo 2. HAD analizlerinde kullanılan DEÇ sistemi için uygulanan parametreler.	19
Tablo 3. HAD analiz parametreleri	21



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Üç DEÇ tipinin şeması: nokta absorblayıcı (a), sönümleyici (Pelamis isimli tasarım örneği)(b) ve sonlandırıcı (Wave Dragon (Deniz ejderi) isimli tasarım örneği)(c).	4
Şekil 1.2. Pelamis Dalga Enerjisi Çevirici	5
Şekil 1.3. Nokta absorblayıcı sistem örneği olan PowerBuoy isimli DEÇ	5
Şekil 1.4. Sonlandırıcı (Dalga Aşması) prensibi ile çalışan Wave Dragon isimli DEÇ sistemi	6
Şekil 1.5. Salınlı Dalga Kabarması (Wave Surge) Çevirici	6
Şekil 1.6. Daldırılmış Basınç Farkı Sistemi	7
Şekil 1.7. Dalga Şişmesi ile çalışan DEÇ sisteminin şematik gösterimi	8
Şekil 3.1. Sistemin yan görünüşü.	12
Şekil 3.2. Sistemin üst görünüşü.	13
Şekil 3.3. Ön Görünüş	14
Şekil 3.4. İzometrik Görünüş	14
Şekil 3.5. Sistemin mekanizmasının temel ölçüleri ve görünümü	15
Şekil 3.6. Mekanik kolun temel ölçüleri	16
Şekil 3.7. Volanın temel ölçüleri	16
Şekil 3.8. Yüzer cisim ve mekanik kol arasındaki bağlantı elemanı.	17
Şekil 3.9. 1. Yüzer cismin (Yüzer Cisim 1) temel ölçüleri ve görünümü.	17
Şekil 3.10. Dalga parametreleri	18
Şekil 3.11. Dalga enerji dönüştürücü sistemin akış analiz programı modeli	19
Şekil 3.12. HAD yazılımında, Bağlantı 1, Bağlantı 2 ve Bağlantı 3 olarak tanımlanmış noktaların ve eksenlerin gösterimi.	20
Şekil 3.13. Dalga enerji dönüştürücü sistemin akış analiz programında dalga modelinin başlangıç anı görünüşleri (a) izometrik görünüm, b) yan görünüm).	21
Şekil 3.14. 1. yüzer cismin montajı ile oluşturulan DEÇ sistemin akış analiz programı dalga modelinin zamana bağlı görünüşleri (a) t=0 s anı, b) t=1 s anı, c) t=2 sn anı, d) t=3 s anı, e) t=4 s anı, f) t=5 s anı, g) t=6 s anı, h) t=7 s anı, i) t=8 s anı, j) t=9 s anı, k) t=10 s anı, l) t=11 s anı, m) t=12 s anı.	27
Şekil 3.15. Dalga enerji dönüştürücü sistemindeki yüzer cismin düşey yer değiştirmesinin zamana göre değişim grafiği	28
Şekil 3.16. Dalga enerji dönüştürücü sistemindeki yüzer cismin düşey hızının zamana göre değişim grafiği	29
Şekil 3.17. Dalga enerji çevirici sistemde, yüzer cisme etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	29
Şekil 3.18. 1. Bağlantı noktasına y ekseninde etkiyen kuvvetin gösterimi.	30
Şekil 3.19. 2. Bağlantı noktasına y ekseninde etkiyen kuvvetin gösterimi.	30
Şekil 3.20. Dalga enerji çevirici sistemde, yüzer cisme z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	31
Şekil 3.21. 1. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin gösterimi.	32
Şekil 3.22. 2. Bağlantı noktasına, z ekseninde etkiyen kuvvetin gösterimi.	32
Şekil 3.23. 2. Yüzer cismin temel ölçüleri.	33
Şekil 3.24. 2. yüzer cismin montajı ile oluşturulan DEÇ sistemin akış analiz programı dalga modelinin zamana bağlı görünüşleri (a) t=0 s anı, b) t=1 s anı, c) t=2 sn anı, d) t=3 s anı, e) t=4 s anı, f) t=5 s anı, g) t=6 s anı, h) t=7 s anı, i) t=8 s anı, j) t=9 s anı, k) t=10 s anı, l) t=11 s anı, m) t=12 s anı.	38
Şekil 3.25. Dalga enerji dönüştürücü sistemindeki 2. yüzer cismin düşey yer değiştirmesinin zamana göre değişim grafiği	39
Şekil 3.26. Dalga enerji dönüştürücü sistemindeki 2. yüzer cismin düşey hızının zamana göre değişim grafiği	39
Şekil 3.27. Dalga enerji çevirici sistemde, 2. yüzer cisme etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	40
Şekil 3.28. 2. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 1. Bağlantı noktasına etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	41

Şekil 3.29. 2. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 2. Bağlantı noktasına etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	41
Şekil 3.30. Dalga enerji çevirici sistemde, 2. yüzer cisme z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	42
Şekil 3.31. 2. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 1. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	43
Şekil 3.32. 2. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 2. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	43
Şekil 3.33. 3. yüzer cismin ölçüleri.	44
Şekil 3.34. 3. yüzer cismin montajı ile oluşturulan DEÇ sistemin akış analiz programı dalga modelinin zamana bağlı görünüşleri (a) $t=0$ s anı, b) $t=1$ s anı, c) $t=2$ sn anı, d) $t=3$ s anı, e) $t=4$ s anı, f) $t=5$ s anı, g) $t=6$ s anı, h) $t=7$ s anı, i) $t=8$ s anı, j) $t=9$ s anı, k) $t=10$ s anı, l) $t=11$ s anı, m) $t=12$ s anı.	49
Şekil 3.35. Dalga enerjisi çevirici sistemdeki 3. yüzer cismin düşey yer değiştirmesinin zamana göre değişim grafiği.	49
Şekil 3.36. Dalga enerjisi çevirici sistemdeki 3. yüzer cismin düşey hızının zamana göre değişim grafiği	50
Şekil 3.37. Dalga enerji çevirici sistemde, 3. yüzer cisme etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	51
Şekil 3.38. 3. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 1. Bağlantı noktasına etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	51
Şekil 3.39. 3. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 2. Bağlantı noktasına etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	52
Şekil 3.40. Dalga enerji çevirici sistemde, 3. yüzer cisme z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	53
Şekil 3.41. 3. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 1. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	53
Şekil 3.42. 3. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 2. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	54
Şekil 3.43. 4. Yüzer cismin temel ölçüleri.	55
Şekil 3.44. 4. yüzer cismin montajı ile oluşturulan DEÇ sistemin akış analiz programı dalga modelinin zamana bağlı görünüşleri (a) $t=0$ s anı, b) $t=1$ s anı, c) $t=2$ sn anı, d) $t=3$ s anı, e) $t=4$ s anı, f) $t=5$ s anı, g) $t=6$ s anı, h) $t=7$ s anı, i) $t=8$ s anı, j) $t=9$ s anı, k) $t=10$ s anı, l) $t=11$ s anı, m) $t=12$ s anı.	61
Şekil 3.45. Dalga enerji dönüştürücü sistemindeki 4. yüzer cismin düşey yer değiştirmesinin zamana göre değişim grafiği	62
Şekil 3.46. Dalga enerji dönüştürücü sistemindeki 4. yüzer cismin düşey hızının zamana göre değişim grafiği	62
Şekil 3.47. Dalga enerji çevirici sistemde, 4. yüzer cisme etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	63
Şekil 3.48. 4. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 1. Bağlantı noktasına etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	64
Şekil 3.49. 4. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 2. Bağlantı noktasına etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	64
Şekil 3.50. Dalga enerji çevirici sistemde, 4. yüzer cisme z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	65
Şekil 3.51. 4. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 1. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	66
Şekil 3.52. 4. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 2. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.	66
Şekil 3.53. Yapısal analiz yazılımında mekanik kolun ağ (mesh) yapılandırmasının gösterimi.	67
Şekil 3.54. Yapısal analiz yazılımında mesnet, yerçekimi ve kuvvetin tanımlanmasının gösterimi. (A: Yerçekimi, B: Mesnet, C: Uygulanan kuvvet)	68
Şekil 3.55. Mekanik kola etkiyen eşdeğer (Von- Mises) gerilim dağılımının gösterimi. ($F=15000N$)	68
Şekil 3.56. Mekanik kolda meydana gelen toplam deformasyonun gösterimi. ($F=15000N$).	69
Şekil 3.57. Yüzer Cisim 1 ile yapısal analizi gerçekleştirilen sistem için mekanik kola etkiyen kuvvet etkisi ile oluşan gerilim dağılımının gösterimi ($F= 300000N$)	69

Şekil 3.58. Yüzer Cisim 1 ile analizi edilen sisteme göre Mekanik kolda meydana gelen toplam deformasyonun gösterimi. (F=300000N).	70
Şekil 3.59. Yüzer Cisim 2 ile yapısal analizi gerçekleştirilen sistem için mekanik kola etkiyen kuvvet etkisi ile oluşan gerilim dağılımının gösterimi (F= 141300N)	70
Şekil 3.60. Yüzer Cisim 2 ile analizi edilen sisteme göre Mekanik kolda meydana gelen toplam deformasyonun gösterimi. (F= 141300N).	70
Şekil 3.61. Yüzer Cisim 3 ile yapısal analizi gerçekleştirilen sistem için mekanik kola etkiyen kuvvet etkisi ile oluşan gerilim dağılımının gösterimi (F= 363000N)	71
Şekil 3.62. Yüzer Cisim 3 ile analizi edilen sisteme göre Mekanik kolda meydana gelen toplam deformasyonun gösterimi. (F= 363000N).	71
Şekil 3.63. Yüzer Cisim 4 ile yapısal analizi gerçekleştirilen sistem için mekanik kola etkiyen kuvvet etkisi ile oluşan gerilim dağılımının gösterimi (F= 174425N).	71
Şekil 3.64. Yüzer Cisim 4 ile yapısal analizi gerçekleştirilen sistem için mekanik kolda meydana gelen toplam deformasyonun gösterimi. (F= 174425N).	72
Şekil 3.65. Yapısal analiz yazılımında ara kolda tanımlanan mesnet ve kuvvetin gösterimi. (A: Mesnet, B: Uygulanan kuvvet)	72
Şekil 3.66. Yapısal analiz yazılımında ara kolun ağ (mesh) yapılandırmasının gösterimi.	73
Şekil 3.67. Yüzer cisim ve mekanik kolu birbirine bağlayan ara kola etkiyen kuvvet etkisi ile oluşan gerilim dağılımının gösterimi (a) Yüzer Cisim 1 kullanılan sistem (F=300000N), b) Yüzer Cisim 2 kullanılan sistem (F= 141300N), c) Yüzer Cisim 3 kullanılan sistem (F= 363000N), d) Yüzer Cisim 4 kullanılan sistem (F= 174425N)).	73
Şekil 3.68. Yapısal analiz yazılımında kramayer dişlide tanımlanan mesnet ve kuvvetin gösterimi. (A: Mesnet, B: Uygulanan kuvvet)	74
Şekil 3.69. Yapısal analiz yazılımında kramayer dişlinin ağ (mesh) yapılandırmasının gösterimi.	75
Şekil 3.70. Yüzer cisim 1 ile oluşturulan DEÇ sistemine ait kramayer dişlinin yapısal analizi (F=136000N)	75
Şekil 3.71. Yüzer cisim 2 ile oluşturulan DEÇ sistemine ait kramayer dişlinin yapısal analizi (F=41900N)	76
Şekil 3.72. Yüzer cisim 3 ile oluşturulan DEÇ sistemine ait kramayer dişlinin yapısal analizi (F=125000N)	76
Şekil 3.73. Yüzer cisim 4 ile oluşturulan DEÇ sistemine ait kramayer dişlinin yapısal analizi (F=62400N)	77
Şekil 3.74. Yapısal analiz yazılımında yüzer cismin ağ (mesh) yapılandırmasının gösterimi.	77
Şekil 3.75. Yapısal analiz yazılımında yüzer cisimde tanımlanan mesnet ve ağırlığın gösterimi. (A: Mesnet, B: Cismin kendi ağırlığı)	78
Şekil 3.76. Yüzer cisim 3 ile oluşturulan DEÇ sistemine ait yüzer cismin yapısal analizi.	78
Şekil 3.77. Yüzer Cisim 3 ile yapısal analizi gerçekleştirilen sistem yüzer cisimde oluşan toplam deformasyonun gösterimi.	79
Şekil 3.78. DEÇ Sistemi Parçaları ve Genel Görünüşü	79
Şekil 3.79. DEÇ Katı model Sisteminden Elde Edilen Hareket Aktarma Mekanizması Kinematik Diyagramı (a) Genel Görünüm, b) detay görünüm)	80
Şekil 3.81. DEÇ Sistemi Hareket Aktarma Sistemindeki Krank-Biyel Mekanizması Kinematik Parametreleri (a) Genel Görünüm, b) detay görünüm)	82
Şekil 3.82. 5 saniye periyot ve 1 metre dalga yüksekliğindeki (3.6) denkleminin grafiği	83
Şekil 3.83. Yüzer cismin düşey hareketinin zamana göre değişimi	88
Şekil 3.84. Kramayer bağlantı noktasının hızı	88
Şekil 3.85. Kramayer bağlantı noktasının hızı	89
Şekil 3.86. Mekanik kolun ağırlık merkezinin düşey hızı.	89
Şekil 3.87. Mekanik kolun açılma hızı.	90
Şekil 3.88. Krank biyel mekanizmasının giriş kolunun açılma hızı.	90
Şekil 3.89. Volan milinin açılma hız ve açılma ivme grafiği (α : r/s^2 , w : r/s)	91
Şekil 3.90. Statik torkun zamana bağlı değişimi.	91
Şekil 3.91. Dinamik torkun zamana bağlı değişimi.	92
Şekil 3.92. Statik ve toplam (statik+dinamik) torkun zamana bağlı değişimi.	92
Şekil 3.93. Statik torkun giriş kolu açısı (Θ)'ya göre değişimi.	93

Şekil 3.94. Dinamik torkun giriş kolu açısı (Θ)'ya göre değişimi.	93
Şekil 3.95. Toplam torkun giriş kolu açısı (Θ)'ya göre değişimi.	94
Şekil 3.96. Dişli kutusu, miller ve hareket aksamının bileşenleri	95
Şekil 3.97. Hareket aksamının montajının yapılacağı dişli kutusu	95
Şekil 3.98. Yataklar	96
Şekil 3.99. Volan	96
Şekil 3.100. Yüzer Cisim	97
Şekil 3.101. Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) sisteminin imalat fotoğrafı.	97
Şekil 3.102. Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) sisteminin montaj fotoğrafı.	98
Şekil 3.103. Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) sisteminin çalışma esnasında elektrik elde edilme durumundaki fotoğrafı.	98
Şekil 3.104. Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) sisteminin volan ve alternatörünün fotoğrafı.	98
Şekil 4.1. Dalga Enerjisi Çevirici sisteme entegre edilen ve analizi gerçekleştirilen tüm yüzer cisimlerin Bilgisayar Destekli Dizayn programı ile gerçekleştirilen çizimlerinin gösterimi.	99
Şekil 4.2. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalga etkisi ile yer değiştirmesinin zamana bağlı gösterimi.	99
Şekil 4.3. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalga etkisi ile ortalama yer değiştirmesinin zamana bağlı gösterimi.	100
Şekil 4.4. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalga etkisi ile hız değişiminin zamana bağlı gösterimi.	100
Şekil 4.5. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalga etkisi ile oluşan maksimum hız ortalaması ve ortalama hızlarının zamana bağlı gösterimi.	101
Şekil 4.6. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalga etkisi ile düşey kuvvetin zamana bağlı değişimin gösterimi.	101
Şekil 4.7. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalga etkisi ile 1. Bağlantı noktasına y ekseninde etkiyen kuvvetin zamana bağlı değişimin gösterimi.	102
Şekil 4.8. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalga etkisi ile 2. Bağlantı noktasına y ekseninde etkiyen kuvvetin zamana bağlı değişimin gösterimi.	103
Şekil 4.9. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlere dalga etkisi ile z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana bağlı değişiminin gösterimi.	104
Şekil 4.10. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalga etkisi ile 1. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana bağlı değişiminin gösterimi.	105
Şekil 4.11. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalga etkisi ile 2. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana bağlı değişiminin gösterimi.	106
Şekil 4.12. Yüzer cisimlerin Dalga Enerjisi Çevirici sisteme entegre edildiği tasarım şartlarında, yüzer cisimlere ve bağlantı noktalarına y ekseninde etkiyen ortalama ve maksimum kuvvetlerin gösterimi	107
Şekil 4.13. Yüzer cisimlerin Dalga Enerjisi Çevirici sisteme entegre edildiği tasarım şartlarında, yüzer cisimlere ve bağlantı noktalarına z ekseninde etkiyen ortalama ve maksimum kuvvetlerin gösterimi.	108
Şekil 4.14. Yüzer cisimlerin anlık güç değişim aralığı.	108

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltma/Simgesi	Tanım
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
DEÇ	Dalga Enerjisi Çevirici
WEC	Wave Energy Converter
CAD	Bilgisayar Destekli Dizayn (Computer Aided Design)
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
CFD	Computational Fluid Dynamics



1. GİRİŞ

Enerji, ekonomik büyüme için ana faktördür. Birçok ürün ve tüketim malzemesinin üretim ve/veya kullanımı için enerji gerekmektedir. Enerji kullanımı, ekonomik üretkenliği ve endüstriyel büyümeyi yönlendirerek modern ekonominin işleyişinin merkezinde yer almaktadır (Asgar, 2008). İnsanlığın kaderini bütünüyle değiştiren ve tamamen geçmişten farklı bir yola sokan endüstri devrimi, bu değişim gücünü temel olarak kömürden almıştır. Yeni fosil yakıtların da kullanılmaya başlanması ile sanayide büyük gelişmeler yaşanmış ve şehirleşme artmıştır. Şehirleşmenin ve sanayileşmesinin artması ile fosil yakıt kaynakları günümüzde yoğun bir biçimde kullanılmaktadır.

Son yıllarda ekonominin ve nüfusun büyümesi, fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan CO₂ emisyonlarında, benzeri görülmemiş bir artışa yol açmaktadır. Enerji üretim sistemleri, dünyadaki CO₂ emisyonlarının %75'ini gerçekleştirmektedir (Elavarasan vd., 2020). Bu durum, çevre ve insan sağlığı için negatif etkilere yol açmakta ve farklı enerji kaynaklarının kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Yenilenebilir enerji konusu, uzmanların yanı sıra kamuoyunun da ilgisini çekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) ile ilgili çalışmalar son yıllarda artış göstermektedir (Rizzi vd., 2014). YEK, fosil yakıt kaynaklarının tükenme eğiliminde olması ve küresel ısınma gibi sorunların öne çıkması ile önem kazanmaktadır (Momete, 2018).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının, fosil yakıtlara kıyasla en belirgin özelliği, yenilenebilir enerjinin doğada yenilenen ve tükenmeyen kaynaklardan üretilmesidir. Bu kaynaklar; güneş ışığı, rüzgâr, su, biokütle ve jeotermal (yeraltı ısı) gibi doğal kaynaklardır.

Elektrik enerjisi, günümüzde insan hayatının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Geçmiş yüzyıllarda elektrik enerjisi olmadan da insanoğlu hayatını idame ettirebilmiştir, ancak toplum refahının ve ekonominin günümüzdeki gibi artması söz konusu olamamıştır. Elektrik enerjisi, günümüzde sosyal, ekonomik ve kültürel faaliyetlerin devam edebilmesi için de zorunlu ihtiyaç haline gelmiştir. Buna ek olarak elektrikli trenler ve ulaşım araçlarının yaygınlaşması ile ulaşım sektöründe de vazgeçilmez unsur haline gelmektedir. Günümüzde devletler arasında siyasi güç dengesini de elektrik enerjisi kaynakları belirlemekte ve toplumlar arası ilişkileri etkilemektedir.

Buna örnek olarak, son yüzyılda petrol kaynaklarına sahip ülkeler, siyasi ve ekonomik açıdan ilgi çekmektedir ve bu kaynaklara erişim amacı ile pek çok savaş gerçekleşmiştir. Ülkemiz için de elektrik enerjisinde dışa bağımlılığın azaltılması, yurtiçi kaynakların en üst düzey verimde kullanılması büyük önem arz etmektedir (Abdollahzadeh moradi, 2018). Bu sebeplerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması, toplumun ve endüstrinin bu konuda bilinçlendirilmesi ve araştırma geliştirme faaliyetlerinin, bu alanda yapılmakta olan bilimsel çalışmaların ivmelenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, üniversite ve sanayi iş birliği kapsamında üretilen ve ticarileşme potansiyeli olan ürünlerin de önemi artmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları çeşitleri arasında öne çıkan enerji türlerinden birisi de dalga enerjisidir. Dalgalar, rüzgâr hareketi tarafından üretilir ve dolaylı bir güneş enerjisi şeklidir (Falcão,

2010). Rüzgârların deniz yüzeyinde esmesiyle meydana gelen dalgaların gücü dalga yüksekliği, dalga hareketi, dalga boyu ve su yoğunluğu ile belirlenmekte ve genellikle daha büyük dalgalardan daha çok enerji (genliğinin karesi ve hareket periyodu ile orantılıdır) elde edilmektedir. Dalga enerjisinden elektrik üreten dalga enerji dönüştürücüleri enerjiyi ya okyanusun/denizin yüzeyindeki dalgalardan ya da suyun altındaki dalgalanmalardan elde etmektedir ve yerleştirildikleri alana göre kıyı, yakın kıyı ve açık deniz tipi dalga dönüştürücüleri olarak sınıflandırılabilirler. Oluşan dalga yüksekliği ve periyodu o bölgede elde edilecek dalga enerjisinin ana unsurlarıdır. Her dalga yüksekliğinden istenilen enerjinin alınabilmesi, dalga enerjisinin önemli avantajlarından biridir (Okyanuslardan Gelen Enerji (Dalga Enerjisi), 2022). Deniz dalgası enerjisi, birçok ülkede giderek daha büyük ve gelecek vaat eden bir kaynak olarak görülmektedir.

Türkiye Cumhuriyeti Devleti'nin de etrafının büyük bölümünün denize sınırı olması, özellikle dalga enerjisini, yüksek potansiyelli yenilenebilir enerji kaynağı olarak öne çıkarmaktadır ve avantajları şu şekildedir: I) Okyanus, Dünya yüzeyinin yaklaşık %71'ini kaplamaktadır; II) dalgalar önemli miktarda enerji potansiyeli içerir (okyanus yüzeyinde binlerce km boyunca bu enerji iletilir); III) Dalga enerjisi, güneş ve rüzgar enerjisinden daha yüksek bir yoğunluğa ve öngörülebilirliğe sahiptir (Ribeiro vd, 2021). Buna karşın, bazı deniz enerji sistemleri oldukça iyi tasarlanmış olsa da dalga enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü hala gelişim aşamasındadır. Ayrıca günümüzde, dalga enerjisinin ticarileştirilmesinin önünde önemli engeller bulunmaktadır. En önemli engeller, dalga enerjisi sistemlerinin tasarım ömrünün uzun olmasının gerekmesi ve bu cihazların enerji üretim verimliliğinin ticari olarak uygun bir düzeye getirilmesine yönelik zorluklardır. Dalga enerjisi teknolojisinin ekonomik olarak uygulanabilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilebilmesi için Dalga Enerjisi sistemlerinin verimlilik performansının önemli ölçüde artırılması gerekmektedir (Mayon vd., 2021).

Dalga enerjisini kullanılabilir enerjiye dönüştürme çalışmaları, çok sayıda araştırmacının ilgisini çekmektedir. 1980'den önce (McCormick, 1981) binden fazla patent tescil edilmiştir ve bu sayı günümüzde belirgin miktarda artmaktadır. Dalga Enerjisi ile ilgili ilk patent, 1799'da Fransa'da Girard adında bir baba ve oğul tarafından alınmıştır (Ursell, 1981).

Dalga Enerjisi Çevrimi, teorik zorluklara sahip bir hidrodinamik prosestir. Bu sebeple 1970'li yılların sonlarında, seçkin uygulamalı matematikçilerin yaptığı teorik hidrodinamik çalışmaları bu teknolojinin gelişiminde öncü rol oynamıştır. Ek bir zorluk, kullanılabilir enerji üretimine izin vermesi gereken güç çıkarma mekanizması (PTO) (hava türbini, güç hidroliği, elektrik jeneratörü veya diğer) konsepti ile ilgilidir. Buradaki sorun, bazı zaman aralıklarında (her saniye dalga boyu değişebilir, denizin durumu günlük ve saatlik değişebilir, mevsimsel değişimler gözlemlenir) dalgalardan elde edilen enerji akısının değişkenliğinden kaynaklanmaktadır (Falcão, 2010).

2001 yılında Uluslararası Enerji Ajansı tarafından, amacı uluslararası enerji iş birliği, bilgi alışverişi yoluyla okyanus enerji sistemlerinin araştırılması, geliştirilmesi ve koordine edilmesi olan, okyanus enerji sistemleri (IEA-OES, sözleşmeyi imzalayan taraflar olarak 17 ülkeden oluşmaktadır) ile ilgili bir uygulama anlaşması oluşturulmuştur. IEA-OES 2018 faaliyet raporunda 2018 yılında testleri

devam eden veya tamamlanmış 20 farklı ülkeden projelerin incelemesine karar verilmiştir. Bu 20 adet projenin 16 adedi operasyonel ve tamamlanmış projelerdir. Günümüzde gelgit enerjisi, akarsu enerjisi, dalga enerjisi türleri yoğunlukta kullanılmaktadır. IEA-OES 2018 faaliyet raporunda incelenen projelere göre bu okyanus enerjisi türlerinden %80'i dalga ve gelgit enerjisini kullanan projelerden oluşmaktadır (Ocean Energy Systems, 2018).

Son yıllarda dünyada dalga enerjisine olan ilgi artmaktadır. Ulusal ve bölgesel yönetimler, araştırma kurumları, şirketler bu alanda çalışma yürütmektedirler ve toplantı ve konferanslar sıklıkla düzenlenmektedir. Karayipler, 2019 yılında dalga enerjisinin gelişiminde öncü olmuştur. İsveçli bir firma ile 40 MW'lık bir santralin kurulum anlaşması yapılmıştır ('Seabased scores 40MW Caribbean wave energy deal', 2019; 'SINN Power Investigates Caribbean Wave Energy Potential', 2019).

Ülkemizde NATO, ODTÜ ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü, deniz dalgasının yükseklik, frekans gibi parametrelerini aktif olarak ölçmüş ve halen ölçülmeye devam etmektedir. Deniz dalgası ölçümleri, rüzgâr hızına göre hesaplanmakta (WAM: Sayısal dalga tahmin modeli) veya şamandıralı sistemler ile yapılmaktadır. Antalya, Kalkan kıyısında yapılan ölçümlere göre ortalama dalga yüksekliği 1.21m ve ortalama dalga periyodu 5.2 saniye olarak hesaplanmıştır ve Türkiye'nin yıllık ortalama dalga gücü 3-17 kW/m'dir (Dalga Gücü(P)(kw/m) = 0.49 H²T, H: Dalga yüksekliği, T: Dalga Periyodu) (Sağlam ve Uyar, 2022). Yapılan ölçümlere göre ülkemizde deniz dalgasından elektrik enerjisi üretmek mümkündür. Dünyada üretilen sistemlerde 0.5 m dalga yüksekliği yeterli gelmektedir.

Dünya üzerinde 530 MW kurulu güç kapasitesine sahip deniz enerji sistemleri bulunmaktadır ('IRENA and Ocean Energy Europe Partner to Drive Ocean Energy Industry', 2022). Dünya'nın toplam dalga enerjisi potansiyeli ise yıllık 29500 TWh 'tır. Bu potansiyelin kullanılabilmesi için, bilim insanlarının, sektörün ve uluslararası kuruluşların koordineli bir şekilde çalışarak, ekonomik sürdürülebilirliği yüksek, amortisman süresi düşük, düşük bakım maliyetli sistemlerin araştırma ve geliştirme çalışmalarını artırmaları gerekmektedir.

1.1. Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) Sistem Tasarımlarının Türleri

Dalga Enerjisi Çeviriciler, kuruldukları yere göre üç sınıfa ayrılmaktadır, bunlar: Kıyı şeridi, kıyıya yakın ve açık deniz uygulamaları şeklindedir. Kıyı şeridi uygulamalarda (bu çalışmanın konusu olan sistem kıyı şeridi için tasarlanmıştır) enerji üretim yapıları kıyıda sabitlenmiş veya gömülü halde bulunurlar. Bakım ve inşası diğer uygulamalara göre daha kolaydır. Ayrıca, derin su bağlantılarına veya uzun su altı elektrik kablolarına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu tür uygulamaların yaygınlaşması, kıyı şeridi jeolojisi, gel-git seviyesi ve kıyı yapısının korunması gibi etkenlerle sınırlanmaktadır (Ün, 2001).

Kıyı şeridi uygulamalarında salınımlı su kolonu (OWC: Oscilating Water Column) büyük dalgaların kapalı bir hacimde havayı sıkıştırarak dışarı açılan bir kanal üzerine yerleştirilen Wells türbini ile enerji elde edilmesi prensibine göre çalışmaktadır. Havanın sıkıştırılabilirlik özelliği ve yüksek dalga

genliklerinde ve periyotlarında türbinin korunma problemleri bu sistemin verimini düşürmektedir (Kaplukan, 2014).

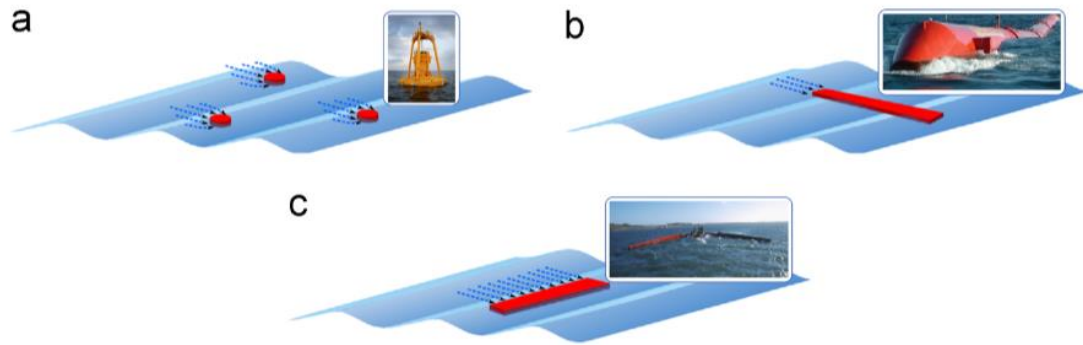
Daralan kanal (Tapcan: Tapered Channel) sistemi, kıyıya gelen dalganın, daralan kanala ulaştığında su kütlelerinin değişmesi nedeniyle, kazandığı enerji ile yükselen su kütlelerinin rezervuarı doldurması prensibine göre çalışmaktadır. Bu sistemde ihtiyaç duyulan kadar enerji depolanabilmektedir. Ancak bütün kıyı kesimleri için uygun değildir ve daralan kanal nedeniyle aşırı yükselen dalgaların kontrolü gerekmektedir ('Tapered Channel Wave Energy', 2022).

Sarkaç tipi Dalga Enerjisi Çeviriciler ise, bir tarafı denize açılan dikdörtgen bir kutu şeklindedir. Bu açıklık üzerine sarkaç bir kapak menteşelenmiştir. Kapak dalga hareketiyle ileri-geri hareket etmektedir. Bu hareket jeneratörün ve hidrolik pompanın çalışması için kullanılır. Sarkaç yapının doğrusal olmayan hareketi ve/veya deniz tabanı ile olası etkileşimi sistemin verimli çalışmasını etkileyebilmektedir (Pozzi vd., 2017).

Yüzer/ hareketli şamandıra tipi, noktasal absorblayıcı ve hiperbarik sistemler daha küçük hacimde çalışabilen, dinamik sistemlerdir (Estefen vd., 2010a).

Dalga enerjisi çeviri sistemleri, çalışma prensiplerine göre 8 ana sınıfta inceleyebiliriz.

1.1.1. Sönümleyici



Şekil 1.1. Üç DEÇ tipinin şeması: nokta absorblayıcı (a), sönümleyici (Pelamis isimli tasarım örneği)(b) ve sonlandırıcı (Wave Dragon (Deniz ejderi) isimli tasarım örneği)(c). (López vd., 2013)

Şekil 1.1'de şematik olarak gösterilen sönümleyici sistemler, deniz dalgasına paralel bir şekilde çalışmaktadır ve görece uzun yapılardır. Birbirine bağlı parçalardan oluşmakta ve dalgayı sönümleyen silindirik yapılardan oluşmaktadır. Bu tasarım tarzının ilk ticarileşmiş olan örneği olan Pelamis isimli cihaz, 2006-2016 yılları arasında hizmet vermiştir. Şekil 1.2.'de sistemin fotoğrafı belirtilmektedir. P2 kodlu varyantı, 180 m uzunluğunda, 4 m çaplı silindirik sekmelerden oluşmakta ve yaklaşık 1350 ton ağırlığındadır. 750 kW maksimum güç üretim kapasitesine sahiptir ('Pelamis Wave Power', 2022).



Şekil 1.2. Pelamis Dalga Enerjisi Çevirici (Amarasekara vd., 2014).

1.1.2. Nokta Absorblayıcı

Nokta absorblayıcı sistemler, şamandıra vasıtası ile suyun kaldırma kuvvetini kullanmaktadır. Yağ veya su ile çalışan hidrolik pompalar vasıtası ile lineer elektrik jeneratörleri ile elektrik üretmektedirler. Şekil 1.3.'de nokta absorblayıcı sistem örneği belirtilmiştir.

Bu sistemlerin ticarileşmiş bir örneği PB3 PowerBuoy isimli DEÇ sistemidir. Sistem, 13.3 m yüksekliğinde, 8.5 ton ağırlığındadır ve maksimum 150 kW kapasiteye sahiptir. ('PB3 PowerBuoy', 2022; 'The Reedsport Wave Power Station Project', 2022)

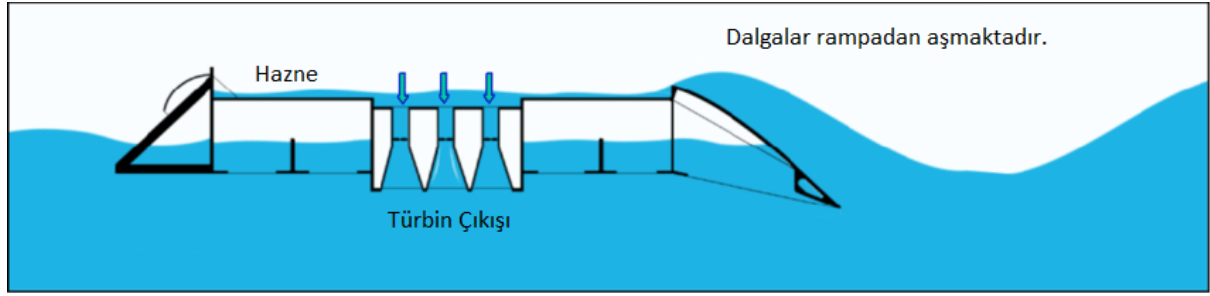


Şekil 1.3. Nokta absorblayıcı sistem örneği olan PowerBuoy isimli DEÇ ('PB3 PowerBuoy', 2022).

1.1.3. Sonlandırıcı

Bu sistemlerde deniz dalgası, tasarımın içindeki hazneye, belirlenen noktadan aşmakta ve hazne deniz suyu ile dolmaktadır. Bu deniz suyu haznedan türbine hareket etmekte ve elektrik üretimi sağlanmaktadır (Şekil 1.4.).

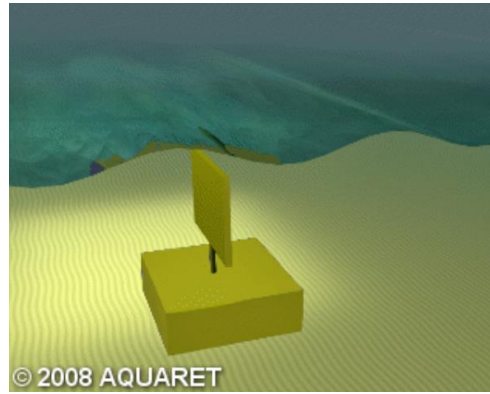
Wave Dragon isimli DEÇ sistemi bu tasarıma örnektir. 4 farklı boyutta üretilmiştir ve boyut ile doğru orantılı olarak 1.5, 4, 7 ve 12 MW maksimum güç kapasitesine sahiptir.



Şekil 1.4. Sonlandırıcı (Dalga Aşması) prensibi ile çalışan Wave Dragon isimli DEÇ sistemi (Parmeggiani, vd., 2013).

1.1.4. Salınımlı Dalga Kabarması Çevirici

Bu sistemlerde dalga kabarması adı verilen deniz dalgasının yatay hareketinden faydalanılmaktadır ve bir noktada sabitlenmiş plakanın bağıl hareketinden enerji elde edilmektedir ('Oscillating Wave Surge Converter', 2022) (Şekil 1.5.).

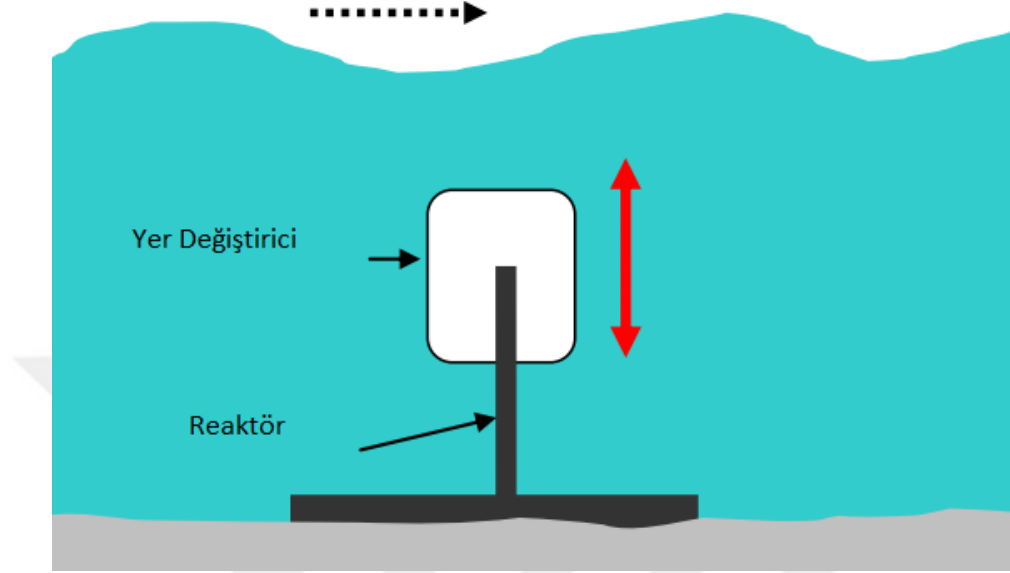


Şekil 1.5. Salınımlı Dalga Kabarması (Wave Surge) Çevirici ('Wave Devices', 2022).

1.1.5. Daldırılmış Basınç Farkı

Bu sistemler, nokta absorblayıcı sistemlerin su altına daldırılmış şekilde kullanılması biçimi ile çalışmaktadır. Kıyıya yakın bölgede kullanılmaktadır ve sistem deniz dibine sabitlenmektedir. Bir yer değiştirici ve reaktörden oluşan sistemde dalgalar, cihazın yüzeyindeki suyun alçalıp yükselmesine sebep olmaktadır. Dalgalar sistem yüzeyinden geçtikçe cihaz yüzeyinde basınç farkı oluşur. Hava ile

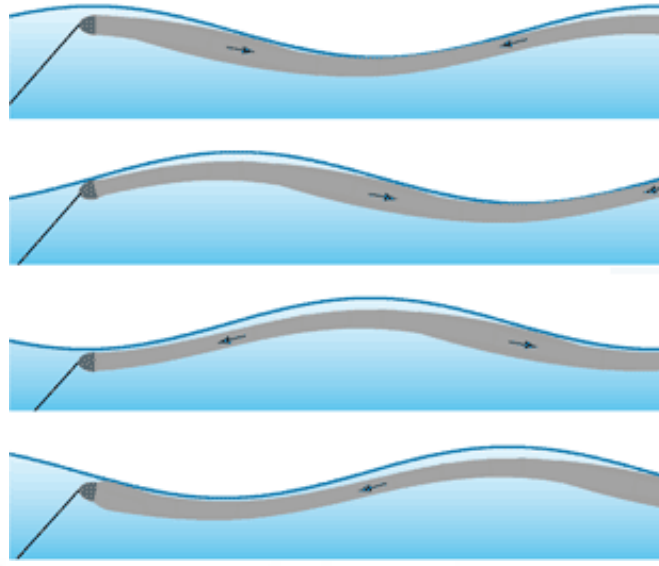
dolu olan yer değiştirici basıncı düşüp yükselerek yer değiştirici hareket etmektedir. Yer değiştirici ve reaktör arasına bağlı bir hidrolik veya elektromekanik sistem kullanılarak, yer değiştirici ve reaktör arasındaki bağıl hareketten güç elde edilmektedir (Mollaghan vd., 2010). Şekil 1.6.'da daldırılmış basınç farkı sistemi şematik gösterimi belirtilmektedir.



Şekil 1.6. Daldırılmış Basınç Farkı Sistemi (Mollaghan et al., 2010).

1.1.6. Dalga Şişkinliği

Dalga Şişkinliği cihazları, dalgaların iç kısmına doğru giden, deniz tabanına demirlenmiş, suyla doldurulmuş kauçuk bir tüpten oluşur. Su, sistemin arka kısmından girmekte ve geçen dalga, borunun uzunluğu boyunca basınç değişimlerine neden olarak bir "çıkıntı" oluşturmaktadır. Şişkinlik borunun içinde hareket ettikçe büyümektedir ve suyun daha sonra denize geri döndüğü uç kısımda bulunan standart bir alçak düşülü su türbinini çalıştırmak için kullanılabilecek enerjiyi toplar. Bu cihazın bir örneği, özel bir şirket tarafından geliştirilen Anaconda'dır (Koca vd., 2013). Şekil 1.7.'de sistemin şematik gösterimi belirtilmektedir.



Şekil 1.7. Dalgalarla çalışan DEÇ sisteminin şematik gösterimi ('Anaconda Wave Energy Converter Concept', 2022).

1.1.7. Dönen Kütle

Cihazın dalgalarda salınması ve eğilmesi ile enerjinin dönüşümü amacı ile iki dönme şekli kullanılır. Bu hareket bir eksantrik ağırlığı harekete geçirir ve enerji elde edilir. Hareket, cihazın içindeki bir elektrik jeneratörüne bağlıdır.

1.1.8. Diğer DEÇ sistemler

Diğer türlerden özgün, daha farklı tasarımlara sahip olan DEÇ sistemleri araştırmacılar tarafından tasarlanmaktadır. Bu sistemlere bir örnek olan dalga rotoru, doğrudan dalgalar tarafından döndürülen bir türbinden oluşmaktadır. Ermakov ve Ringwood (2021) deniz dalgalarının parçacıklarının eliptik hareketinden enerji elde etmek için rotor kullanarak enerji elde edilmesinin mümkün olduğunu belirtmiştir (Ermakov ve Ringwood, 2021). Şekil/ hacim değiştiren yapıların güç aktarım sistemlerinin parçası olduğu esnek yapılar da tasarlanmaktadır.

Bu çalışmada, daha az hareketli parçaya sahip olan ve enerji çevrim ünitesi karada yer alan, hidrolik pompalara ihtiyaç duymayan, diğer absorblayıcı sistemlerden ve hiperbarik şamandıradan ayrılan bir DEÇ sistem tasarlanmıştır.

1.2. Tezin Amacı

Bu doktora tezinin amacı, dalga enerjisi çeviricisi sisteminin tasarımı, kinematik analizi ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemi ile analizinin yapılmasıdır. Bu alanda, ülkemizde yapılacak çalışmalar için bilgi verici bir kaynak olması da hedeflenmektedir.

Dünyada bu alanda ticarileşmiş ve/veya deneysel çalışmalar mevcuttur. DEÇ sistemlerde yaygın olarak, dalga enerjisi pistonlar yardımı ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu doktora tezinde çalışılmış olan sistemde ise dalga enerjisi, dişli çarklardan oluşan özgün bir hareket aksamı ile elektrik enerjisine çevrilmektedir.

Bu çalışmada yapılan tasarımın hareket aksamının kinematik analizi yapılmış olup, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi ile çeşitli dalga parametreleri kullanılarak analizi yapılmıştır. Farklı yüzer cisim tasarımları ile bu sistemin çalışması, yapay deniz dalgası ortamında test edilmiştir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) sistemler ile günümüze kadar pek çok bilimsel çalışma yapılmıştır. Bu bölümde, araştırmacıların bu alanda yapmış olduğu çalışmalardan bahsedilecektir.

Girard ve oğlu (1799), okyanuz dalgalarından mekanik olarak elektrik üreten bir makine tasarımı için patent almıştır. Bu makinenin, o dönemde, hızları ve pompaları çalıştırmak için kullanılması planlanmıştı ('Capturing the Ocean's Energy', 2022). İlerleyen yüzyılda, fosil yakıtlar sanayi devrimi için önemli rol oynamış olsa da, Girard ve oğlu, bu alanda yapılacak araştırmalar için öncü olması niteliği taşımaktadır.

Leishman ve Scobie (1973), Birleşik Krallık'ta 1855 ve 1973 tarihleri arasında patenti alınan dalga gücü cihazlarının geliştirilmesini kitap haline getirmiştir (Leishman ve Scobie, 1978).

Estefen vd. (2007), kıyıya yakın hiperbarik Dalga Enerjisi Çeviricisi tasarlamış ve bilgisayar ortamında test ve analizlerini gerçekleştirmiştir. Cihaz, şamandıra, pompa, yüksek basınçlı su deposu, kompresyon odası, türbin ve jeneratörden oluşmaktadır. Sistem, şamandıranın pistonlara basınç uygulaması ile çalışmaktadır. Sistemin sayısal analizleri, yapısal analizleri statik ve dinamik yük şartlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada araştırmacılar, tam ölçekli prototipin kıyıya kurulumunu gerçekleştirmiştir (Estefen vd., 2010b).

Falcao (2009), dalga enerjisinden elektrik üreten sistemleri, birçok farklı yöntemle birçok farklı geliştirme aşamasında incelemiştir. Bu sistemleri teorik ve sayısal olarak modellemiş ve modelleri test etmiştir. Salınlı su kolonu (OWC: Oscillating water column), salınlı gövde sistemleri, su aşması çeviriciler, güç sistemleri gibi farklı teknolojiler incelenmiştir. Son 15 yılda Avrupa'da finansal desteğin (Avrupa Komisyonu tarafından) ve araştırma geliştirme faaliyetlerinin arttığını belirtmektedir. Falcao, çalışmasında bu teknolojinin zaman alıcı ve maliyetli olduğunu belirtmiş ve finansal desteğin önemli olduğu ifade etmektedir. Hemen hemen her sistemde, dalga enerjisi absorbe edilmesi esnasında bir tür rezonans oluşmaktadır. Bu nedenle, sistem geometri ve boyutu, dalga yüksekliği ile orantılı olarak tasarlanmalıdır. Açık okyanuslarda test edilecek sistemler, büyük ölçekli olmak durumunda olduğu belirtilmiştir (Falcão, 2010).

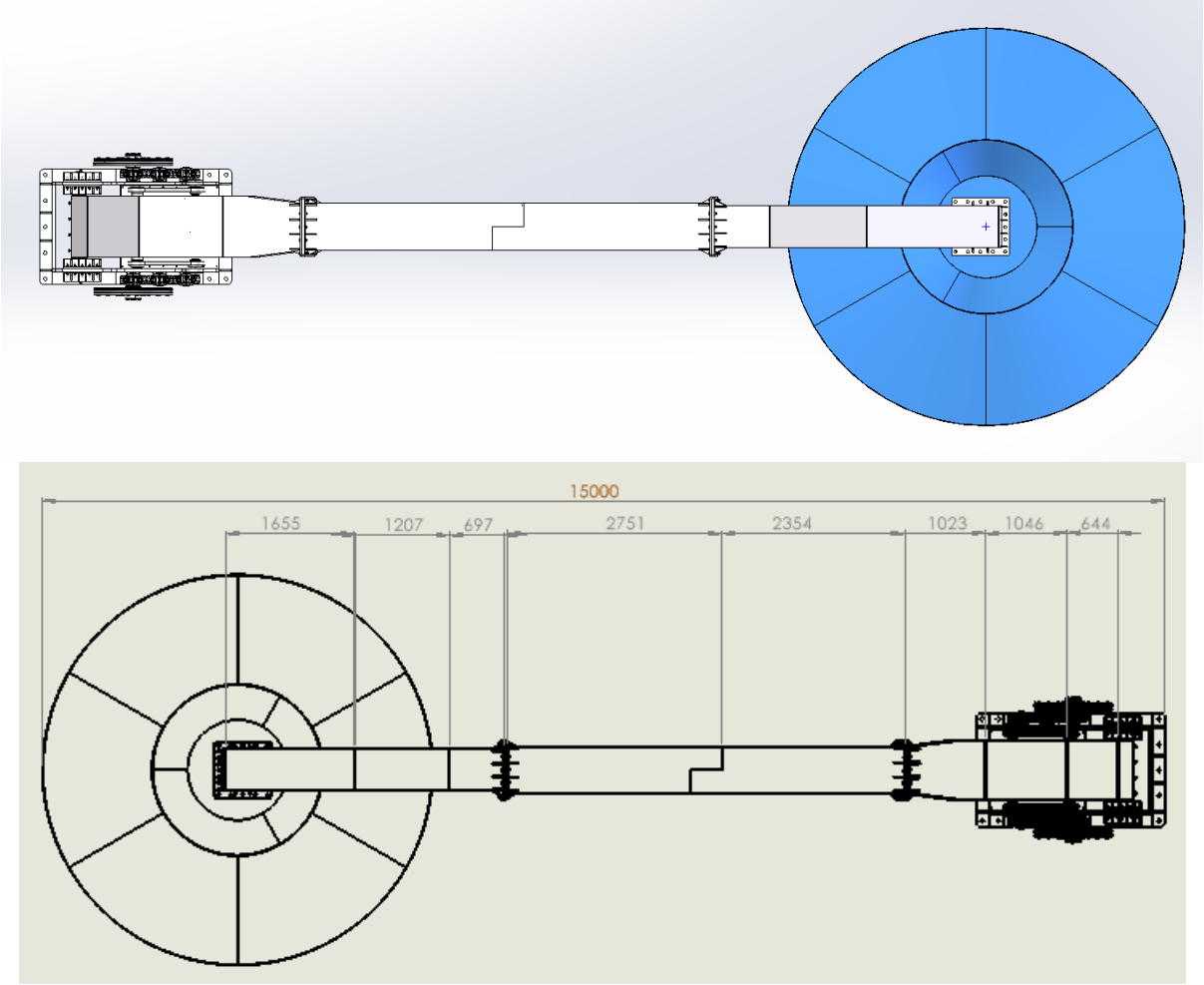
Iglesias vd. (2009) kıyı bölgesine kurulan DEÇ sistemlerin genel elektrik dağıtım hattına direk elektrik verilebilmesi için daha uygun olduğunu belirtmiştir. Kıyıdan uzak veya kıyıya yakın sistemlerin ise deniz suyunu tuzdan arındırma gibi daha spesifik uygulamalar için uygun olduğu belirtilmiştir (Estefen vd., 2010b; Iglesias vd., 2009).

O'Connor vd. (2013) Pelamis ve Wavestar isimli DEÇ sistemlerini teknolojik ve ekonomik açılarından kıyaslamıştır. Yapılan çalışmada sistemin kıyıda, kıyıya yakın veya kıyıdan uzak olmasının maliyete olan etkisi araştırılmıştır. Sistemler kıyıdan uzakta olduğu için kablolama maliyetleri km başına 100000, 282000 ve 939000 Euro (kablolama tipine göre korumasız/korumalı/kaya korumalı) olarak belirtilmiştir. Kıyı sistemleri, maliyet olarak oldukça avantajlıdır ve bakımları kolaydır. Pelamis sistemi, dalga gücünün yoğun olduğu ülkelerde (İrlanda ve İskoçya) yüksek enerji çıktısı sağlamakta,

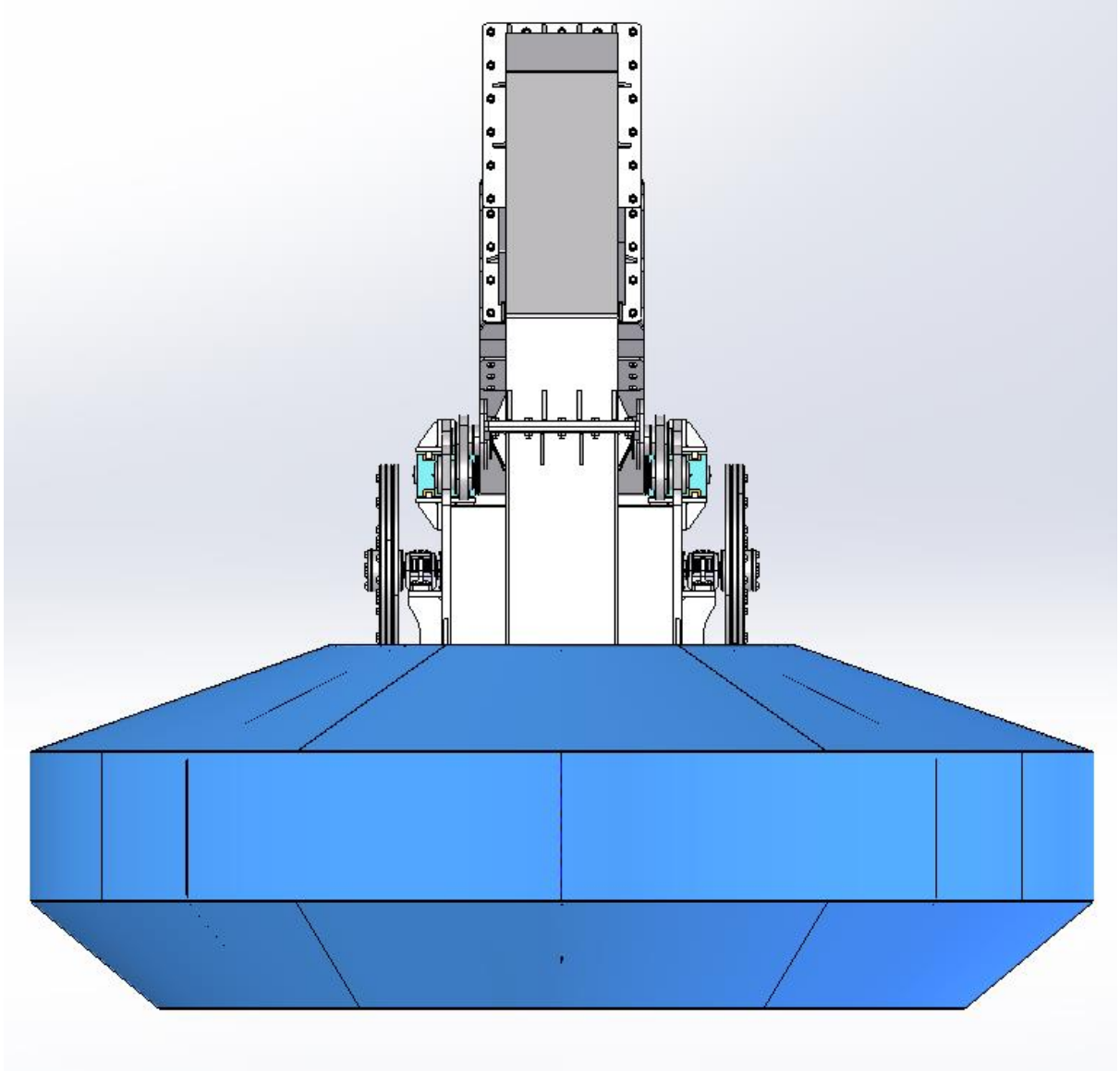
ancak dalga gücünün görece düşük olduğu ülkelerde (Yunanistan ve Danimarka) daha düşük enerji çıktısı sağlanmıştır. Yüksek dalga gücü olan bölgelerde Pelamis, diğer tüm bölgelerde ise Wavestar isimli DEÇ sistemi daha iyi ekonomik performans sergilemiştir (O'Connor vd., 2013).

Xiao vd. (2021), dönme hızı çift türbin çarkı ile güçlendirilmiş bir DEÇ prototipi tasarlamış ve test etmiştir. Sistem şamandıra, güç aktarım sistemi ve aktarma mekanizmasından oluşmaktadır. Araştırmacılar yaptıkları testlerde 0.002 m^3 su altı hacminde, 80 mm dalga genliği ve 03.Hz dalga frekansı parametrelerinde 26.4 MW güç elde etmektedirler (Xiao vd., 2021).

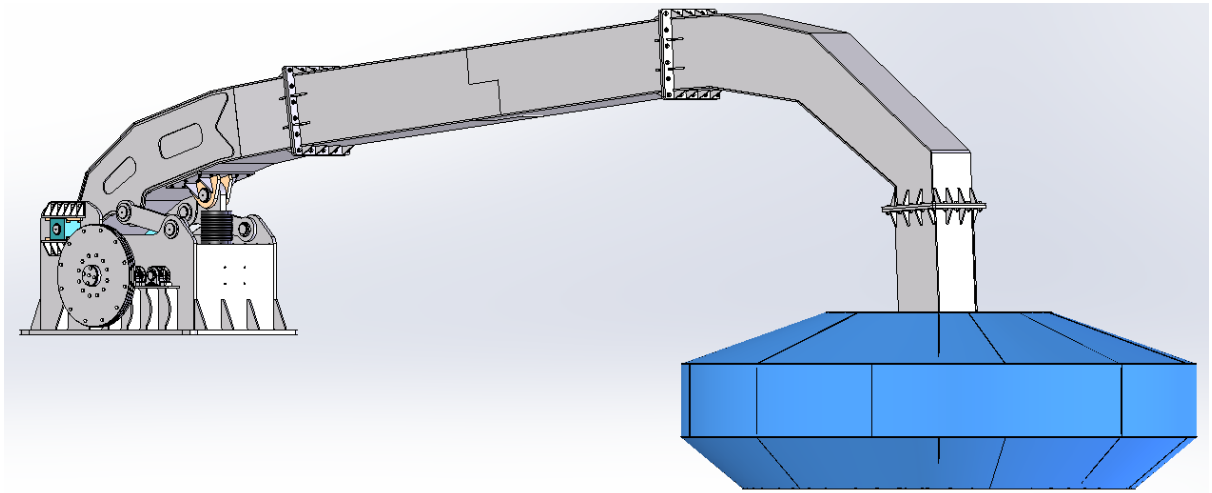
Han vd. (2022), maksimum güç noktası izleme yaklaşımından yararlanan küçük bir süspansiyonlu katamaran prototipi tasarlamıştır ve dalga enerjisinden güç üretimi performansı üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu tasarlanan sistemde kabin, dört sıkıştırma yayı ve süspansiyon bağlantıları ile iki deplasmanlı gövde üzerindedir. Sistemde bu hareket kramayer dişli, DC motor ve jeneratörden oluşan mekanizma ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Deneysel çalışılan sistemde maksimum 0.02m deniz dalgası yüksekliği, 1.5m/s ilerleme hızı ve 8.89 rad/s frekansı parametreleri ile 0.63W güç üretilmiştir (Han vd., 2022).



Şekil 3.2. Sistemin üst görünüşü.

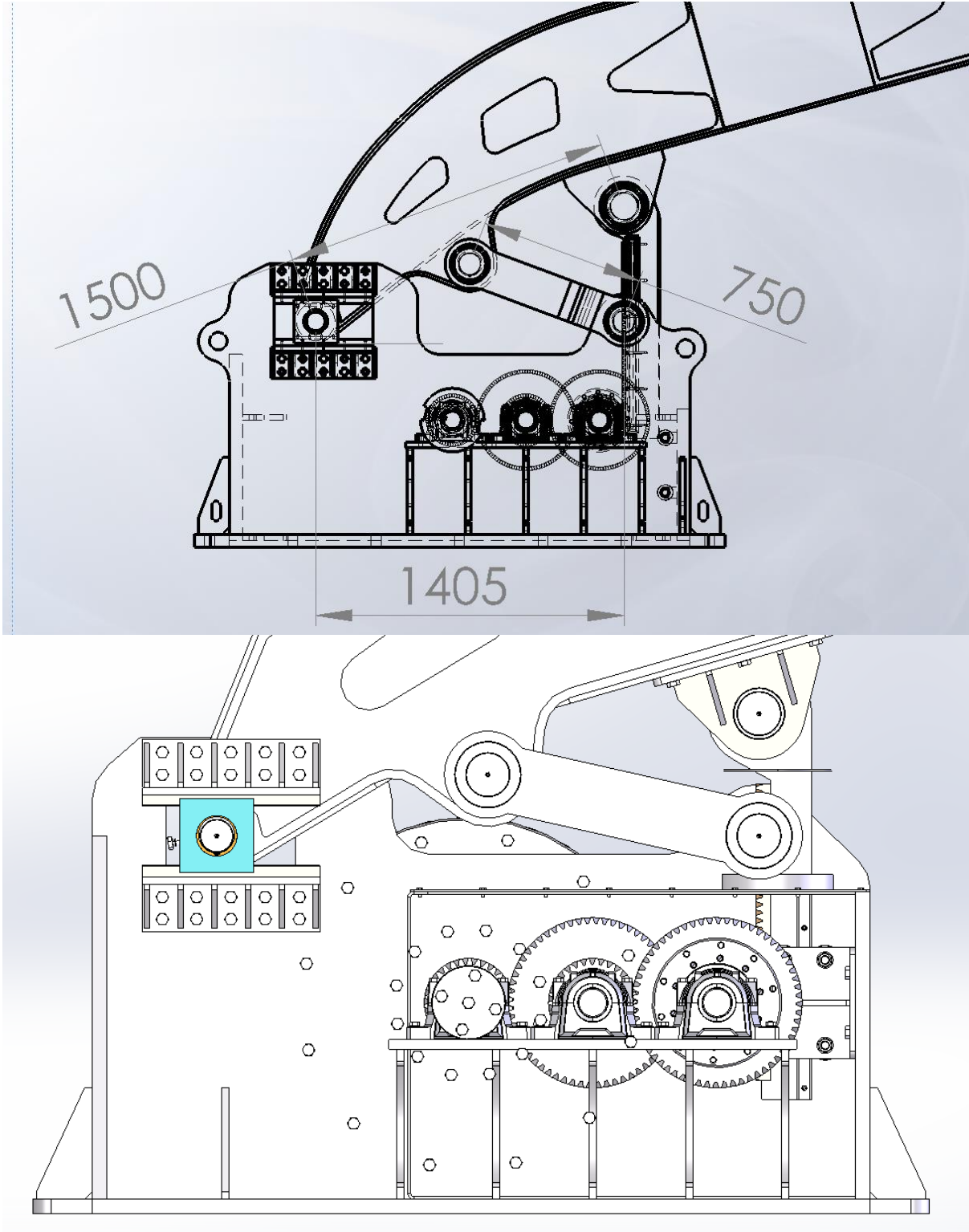


Şekil 3.3. Ön Görünüş

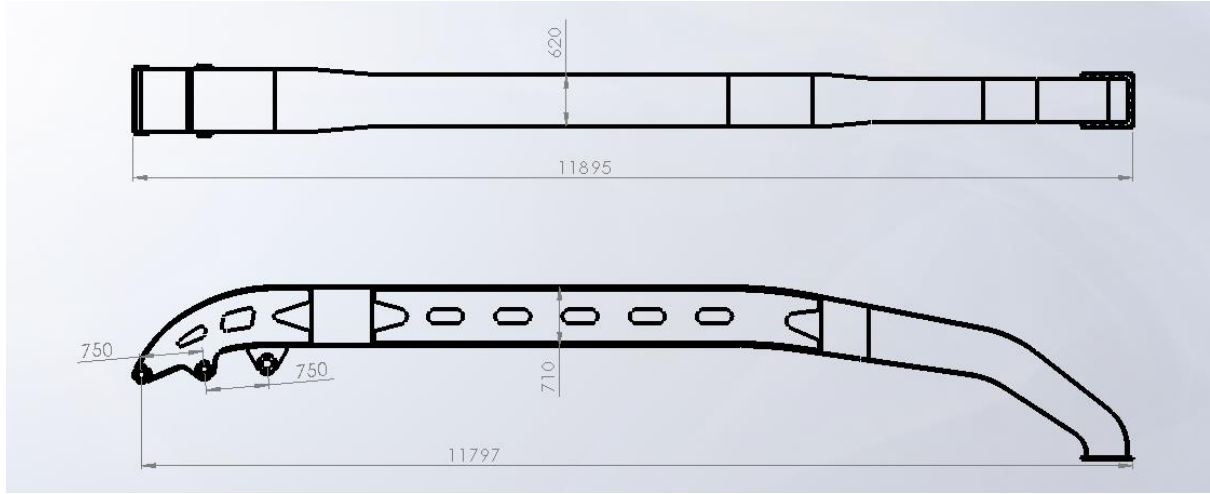


Şekil 3.4. İzometrik Görünüş

Dalga enerji dönüştürücü sistemin mekanizmasının, mekanik kolunun, volanın ve yüzer cisminin temel ölçüleri sırası ile Şekil 3.5., Şekil 3.6., Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.'de belirtilmiştir.

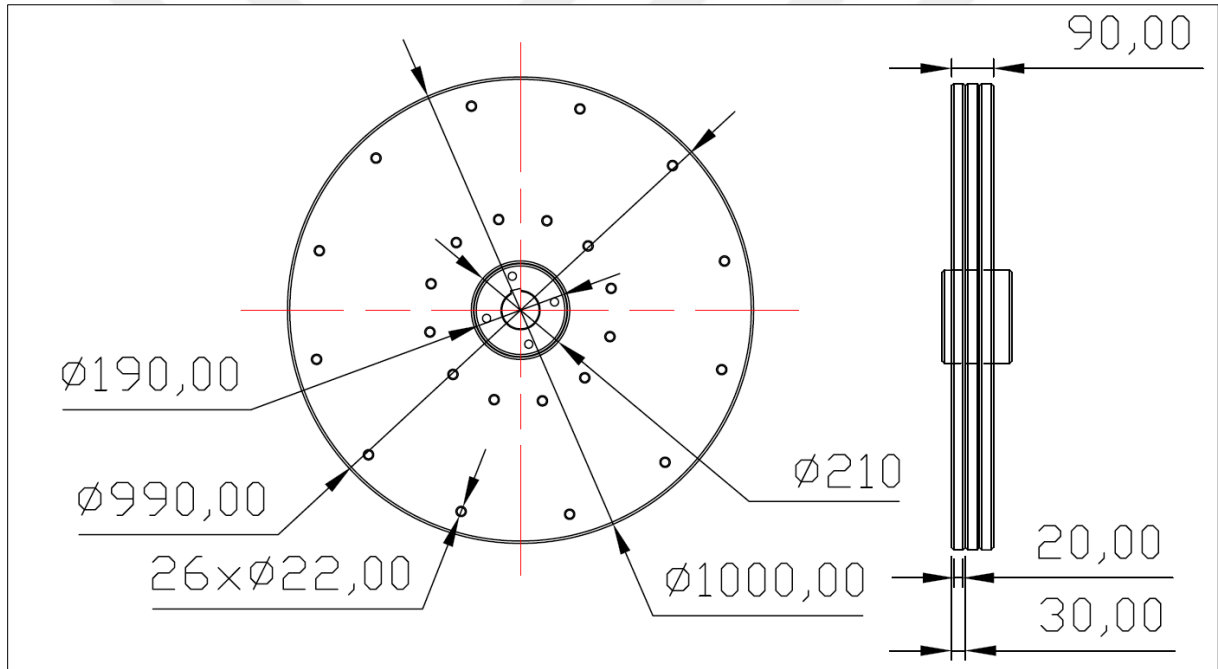


Şekil 3.5. Sistemin mekanizmasının temel ölçüleri ve görünümü



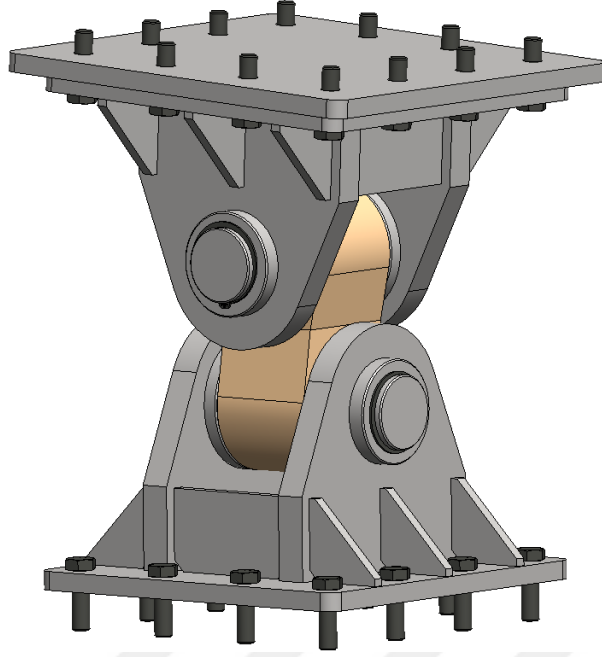
Şekil 3.6. Mekanik kolun temel ölçüleri

Şekil 3.6.'da belirtilen mekanik kolun toplam kütlesi 5188 kg'dır.



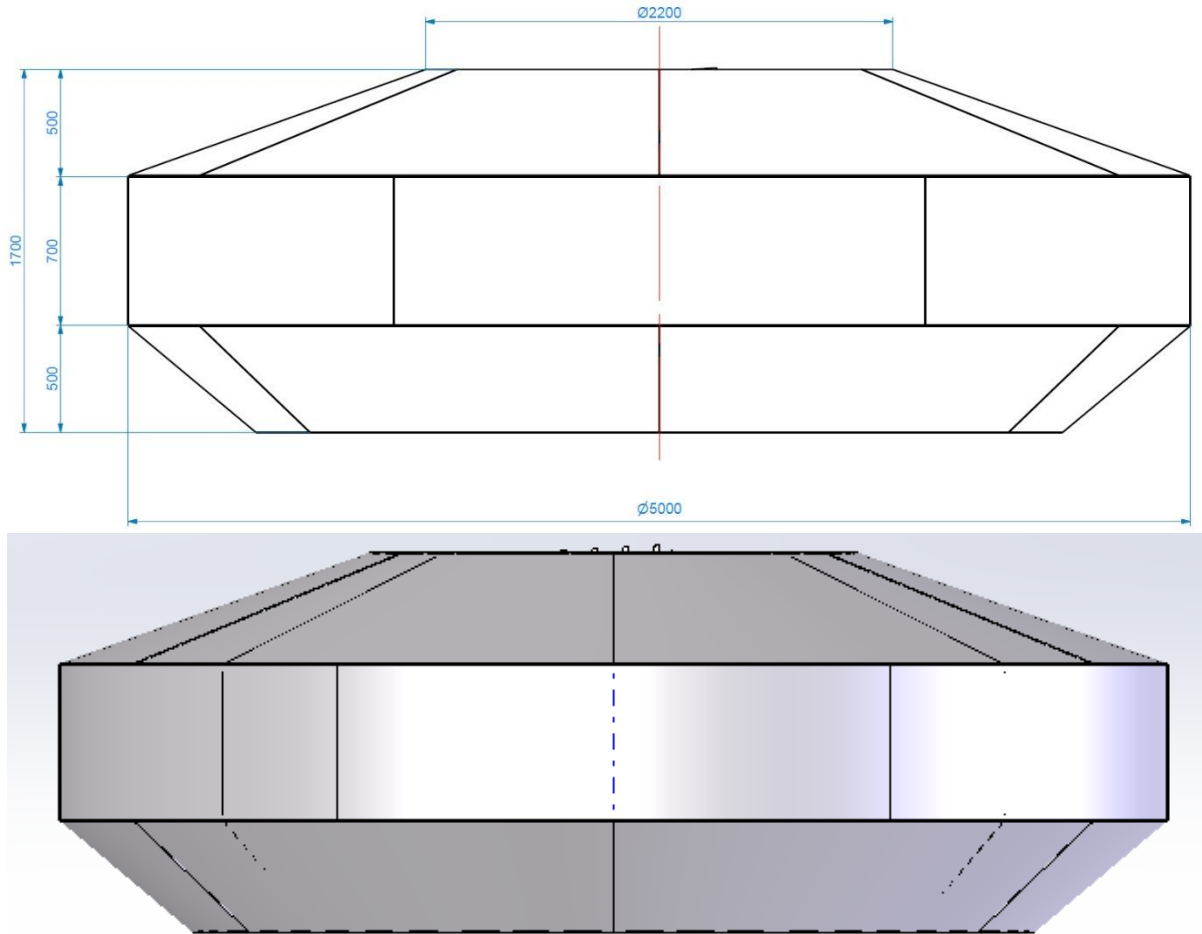
Şekil 3.7. Volanın temel ölçüleri

Şekil 3.7.'deki volan, dalga dönüştürücü sistemde 2 adet kullanılmıştır. Bir volanın toplam kütlesi 2536 kg'dır. Volanın dönme eksenine göre kütle atalet momenti, 1870 kg.m^2 'dir. Bu özelliklere sahip volan dalga enerji sisteminin sahip olduğu kinetik enerjisi yaklaşık sabit 50 dev/dakikada dönüşe göre depolayacağı hesaplanmıştır.



Şekil 3.8. Yüzer cisim ve mekanik kol arasındaki bağlantı elemanı.

Şekil 3.8.'de yüzer cisim ve mekanik kol arasındaki bağlantı elemanı belirtilmektedir.

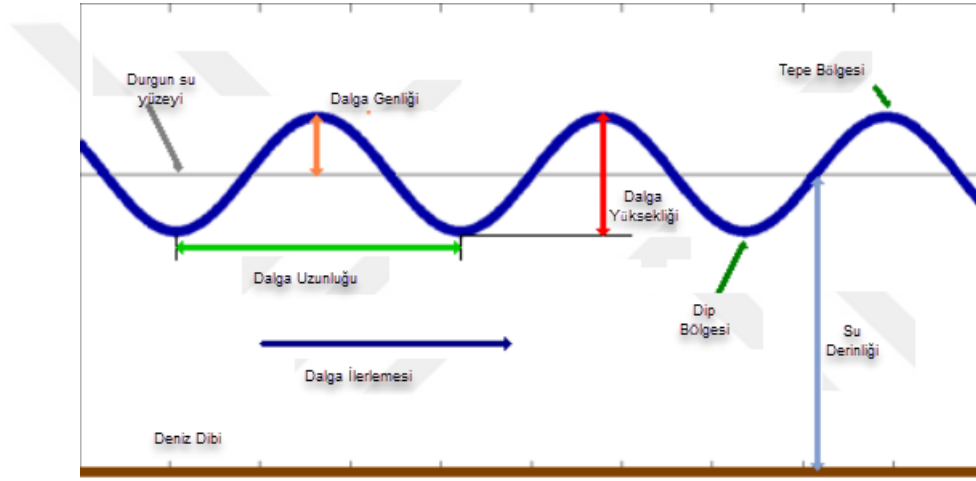


Şekil 3.9. 1. Yüzer cismin (Yüzer Cisim 1) temel ölçüleri ve görünümü.

Yüzer cismin toplam kütlesi 10 ton olarak tasarlanmıştır.

3.2. Akış Analizleri

Şekil 3.1.'deki dalga enerji dönüşüm sistemi, Bilgisayar Destekli Dizayn (CAD) yazılımından Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımına taşınmıştır ve programa tanımlanmış olan dalga modeline göre analizleri yapılmıştır. Analizde 3D serbest yüzey, dış akış ve izotermal modeli kullanılmıştır. Türbülans etkileri otomatik olarak tanımlanmıştır. 120, 12, 15 (sırası ile x,y,z eksenleri) metre ölçülerinde su kanalı modeli kullanılmıştır. Buna uygun model Şekil 3.10.'da gösterilmiştir. Şekil 3.10'da belirtilen dalga parametreleri Tablo 1.'de belirtilmiştir. Tablo 2'de ise HAD analizleri işlemleri için uygulanan parametreler belirtilmiştir.



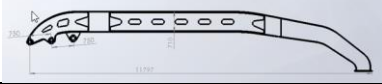
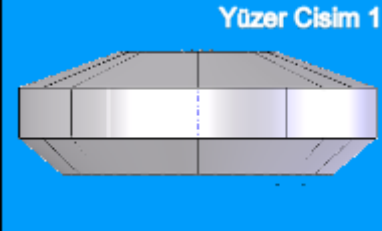
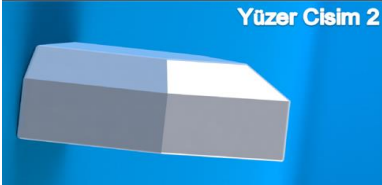
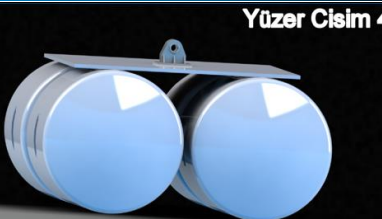
Şekil 3.10. Dalga parametreleri ('Wave Measurement', 2022).

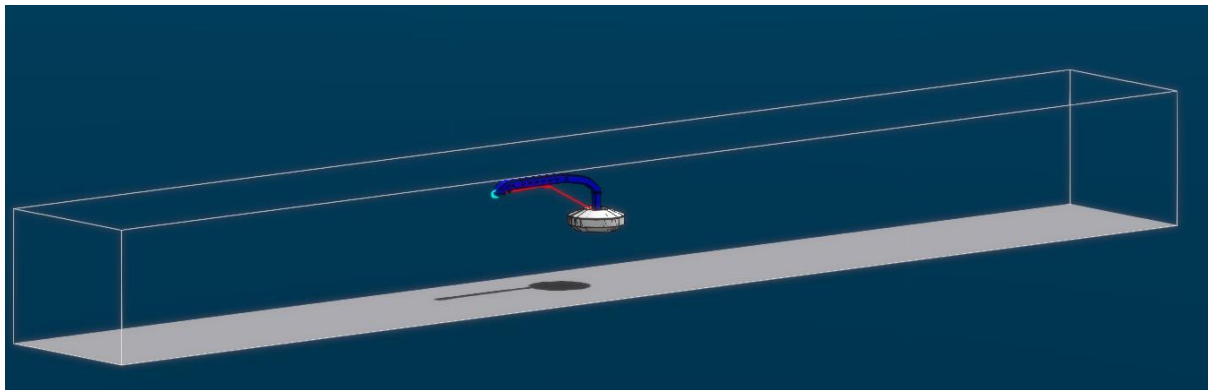
Sağlam vd. (2010), yaptıkları çalışmada, Antalya/ Kalkan açıkları için dalga yüksekliğinin 1.21 metreye ve periyodunun 6.09 saniyeye ulaştığını ve dalga enerjisinin 6.6 kw/m-7.6 kw/m olduğunu belirtmişlerdir (Sağlam ve Uyar, 2010). Bu çalışmada, HAD analizleri için, dalga yüksekliği 1 metre ve periyodu 5 saniye olarak belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. HAD analizlerinde kullanılan deniz dalgası modeli için uygulanan parametrelerin gösterimi.

Parametre	Değer
Su Derinliği	5 m
Dalga Genliği	0.5 m
Dalga Yüksekliği	1 m
Dalga Periyodu	5 s
Dalga Frekansı	0.2 1/s
Dalga Hızı	1 m/s
Dalga Uzunluğu	5 m

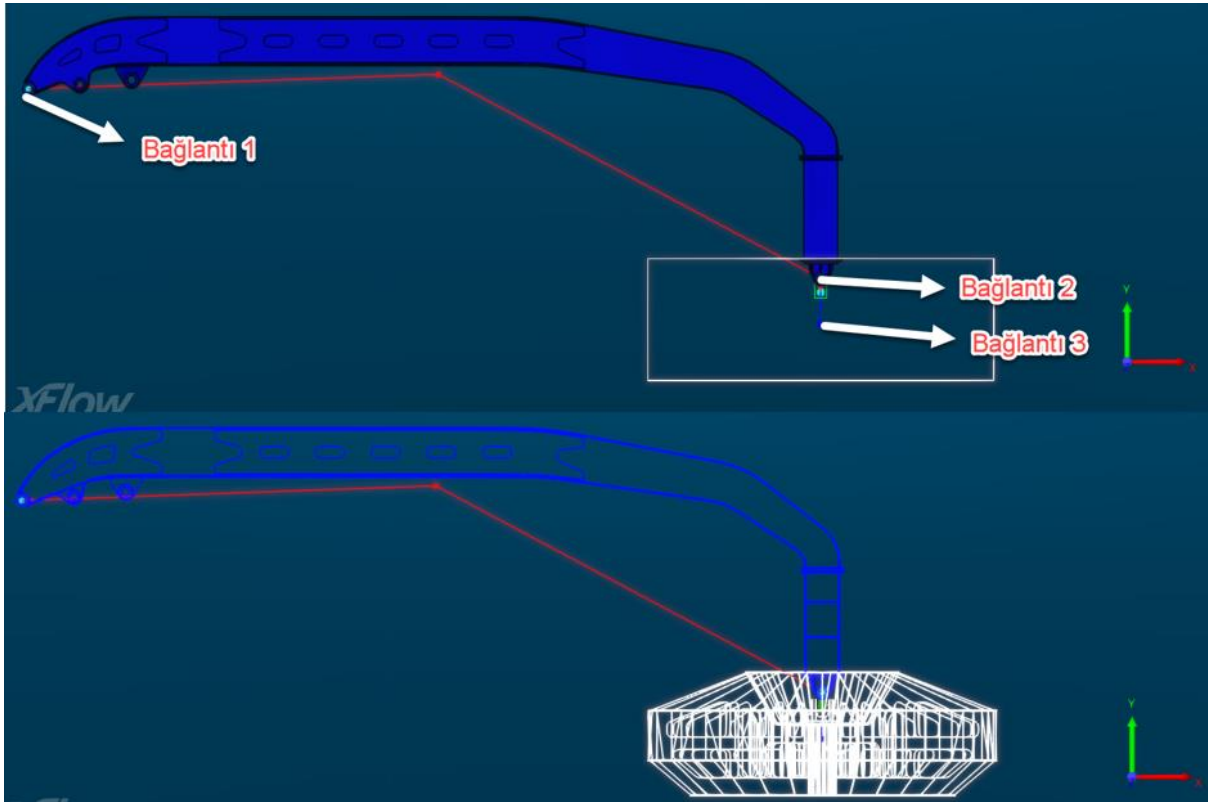
Tablo 2. HAD analizlerinde kullanılan DEÇ sistemi için uygulanan parametreler.

DEÇ Bileşeni	Parametre	Değer	Görsel
Mekanik Kol	Ağırlık	5000 kg	
Yüzer Cisim 1	Ağırlık	10000 kg	
	Hacim	34.76 m ³	
	Yüzey alanı	44.76 m ²	
Yüzer Cisim 2	Ağırlık	10000 kg	
	Hacim	29.32 m ³	
	Yüzey alanı	58.21 m ²	
Yüzer Cisim 3	Ağırlık	10000 kg	
	Hacim	34.5 m ³	
	Yüzey alanı	142.31 m ²	
Yüzer Cisim 4	Ağırlık	10000 kg	
	Hacim	28,46 m ³	
	Yüzey alanı	39,92 m ²	
Özkütle	Yapı çeliği	7580 kg/m ³	Tüm yüzer cisimler için geçerlidir.
Young Modülü		2 x 10 ¹¹ Pa	
Poisson Oranı		0.3	
Maksimum Çekme Mukavemeti		460 MPa	
Çekme Akma Mukavemeti		250 MPa	

**Şekil 3.11.** Dalga enerji dönüştürücü sistemin akış analiz programı modeli

Akış modelinde 1 metre dalga yükseklikli, 5 saniye periyotlu ve 5 metre su yükseklikli dalga modeli tanımlanmıştır. Simülasyon süresi 12 saniyeye kadar tanımlanmıştır (Şekil 3.11.).

Bu çalışmada, dalga enerjisi çevirici (DEÇ) sistemi için, HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) yazılımında 3 adet bağlantı noktası tanımlanmıştır. Bu bağlantı noktalarından “Bağlantı 2” ve “Bağlantı 3”, sistemin analizi için tanımlanması gerekmekte olup, aynı değerleri gösterdiği için “Bağlantı 3” olarak isimlendirilen bağlantı noktasının değerleri grafiklerde belirtilmemiştir. Bu bağlantı noktalarının gösterimi Şekil 3.12’deki gibidir. Bütün çalışmalarda Şekil 3.12’de belirtilen ve HAD yazılımında tanımlanmış “Bağlantı 1”, “Bağlantı 2” ve “Bağlantı 3” olarak adlandırılan bağlantı noktalarının değerleri belirtilmiştir. Ayrıca geometrinin eksenleri de Şekil 3.12’de belirtilmiştir.



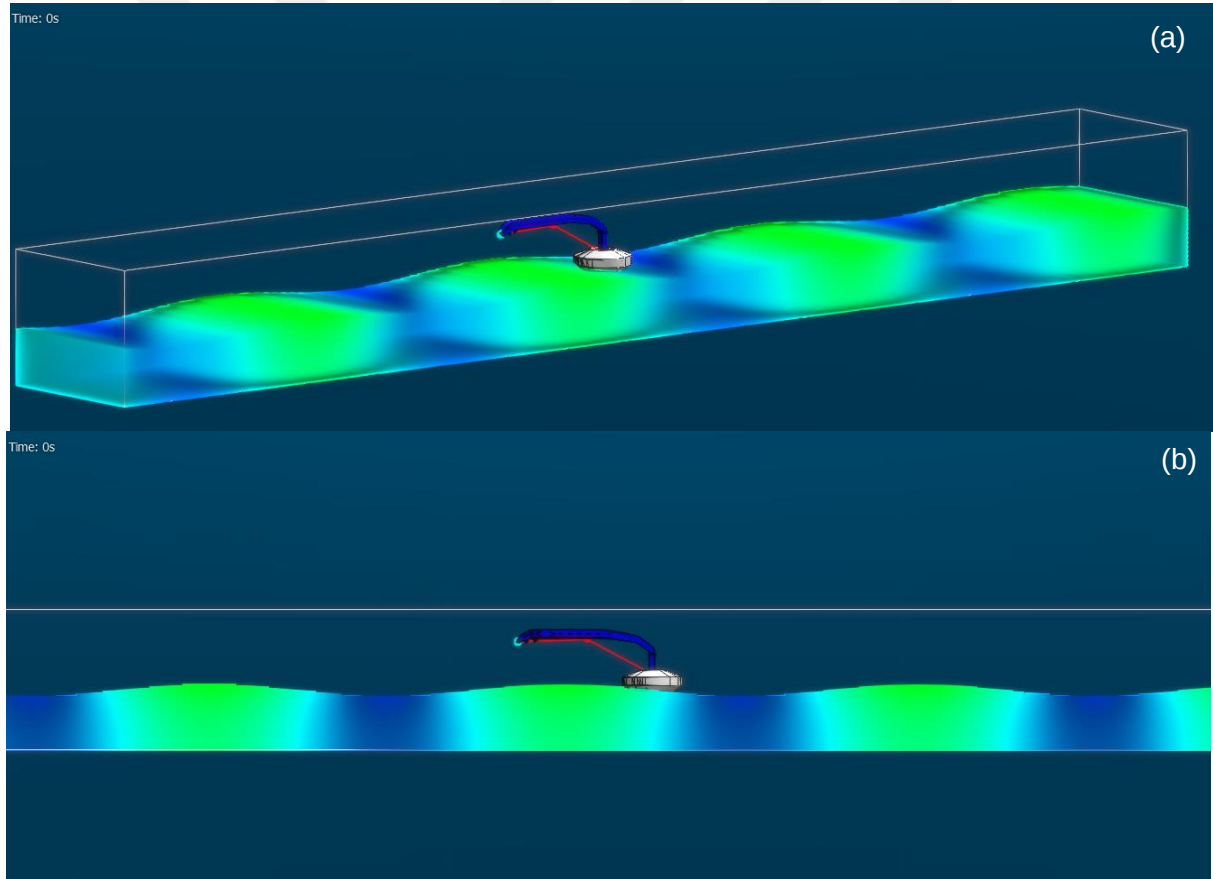
Şekil 3.12. HAD yazılımında, Bağlantı 1, Bağlantı 2 ve Bağlantı 3 olarak tanımlanmış noktaların ve eksenlerin gösterimi.

HAD analizlerinde ilk aşamada bilgisayar destekli dizayn yazılımı ile gerçekleştirilen çizim, HAD yazılımına aktarılmıştır. Daha sonra, bağlantı noktaları Şekil 3.12’deki gibi tanımlanmıştır. HAD analizinde ortam bilgileri, malzeme bilgileri, simülasyon ve proses sonrası işlem tanımları gerçekleştirilmiştir (Yüzer cisim 1 için yapılan bu tanımlamalar diğer yüzer cisimlere de gerçekleştirilmiştir). Analiz türü, yüzer cisim 1 için 3 boyutlu, diğer yüzer cisimler için ise 2 boyutlu tanımlanmıştır. Diğer yüzer cisimlerin 2 boyutlu tanımlanma sebebi, analizlerin daha hızlı gerçekleştirilebilmesinden ve analiz için kullanılan sistemin yeterliliğinden kaynaklıdır. Tablo 3’de HAD analiz yazılımında kullanılan parametreler belirtilmektedir.

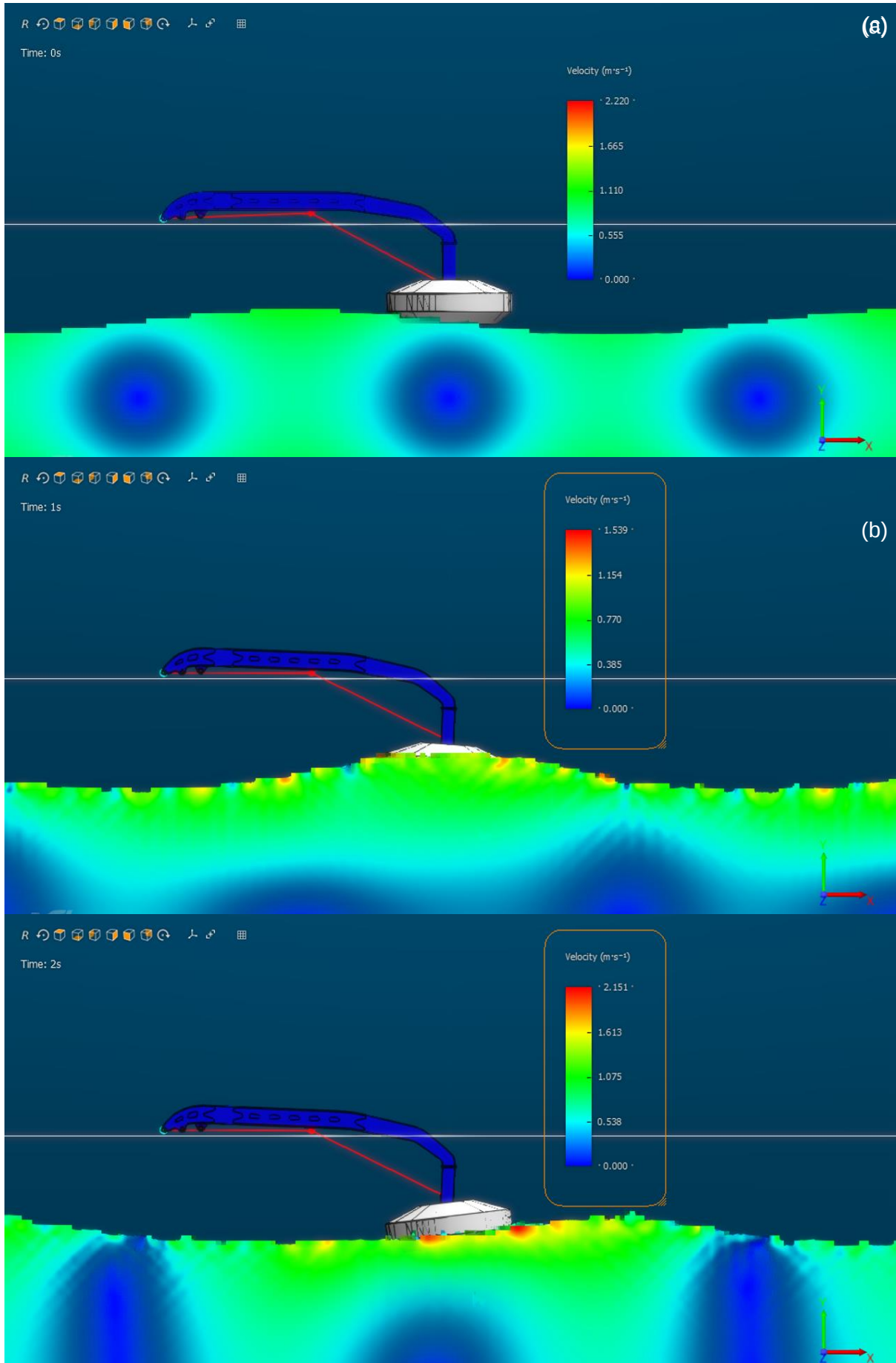
Tablo 3. HAD analiz parametreleri

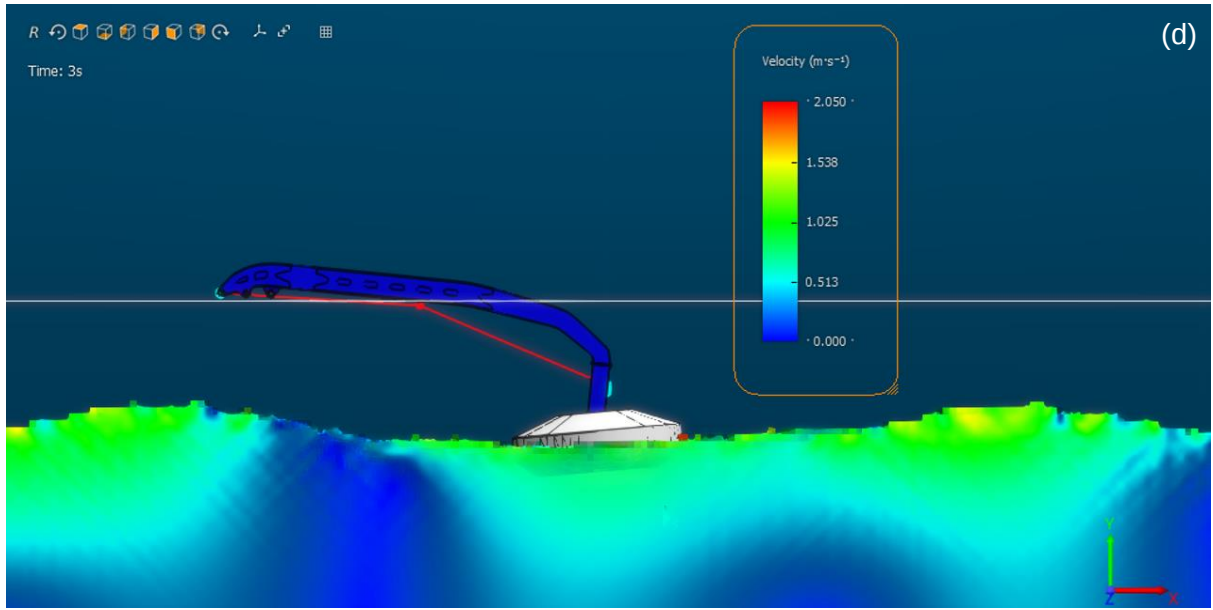
Parametre	Değer
Analiz Türü	3d (1. Yüzer Cisim için)
Analiz Türü	2d (2.,3. ve 4. Yüzer Cisim için)
Akış Modeli	Serbest Yüzey
Analiz Tipi	Dış
Isıl Model	İzotermal
Türbülans Model	Otomatik
Akışkan Yerçekimi	(0,-9.81,0) ms ²
Su kanalı boyutu	(120,15,10) m
Hız Kanunu	0
Formülasyonu (X)	$0.367604440025028 * \cosh(0.186498292726605 * (7+y)) * \sin(1.25664 * t - 0.186498292726605 * x)$
Hız Kanunu	$0.367604440025028 * \sinh(0.186498292726605 * (7+y)) * \cos(1.25664 * t - 0.186498292726605 * x)$
Formülasyonu (Y)	$0.186498292726605 * x$

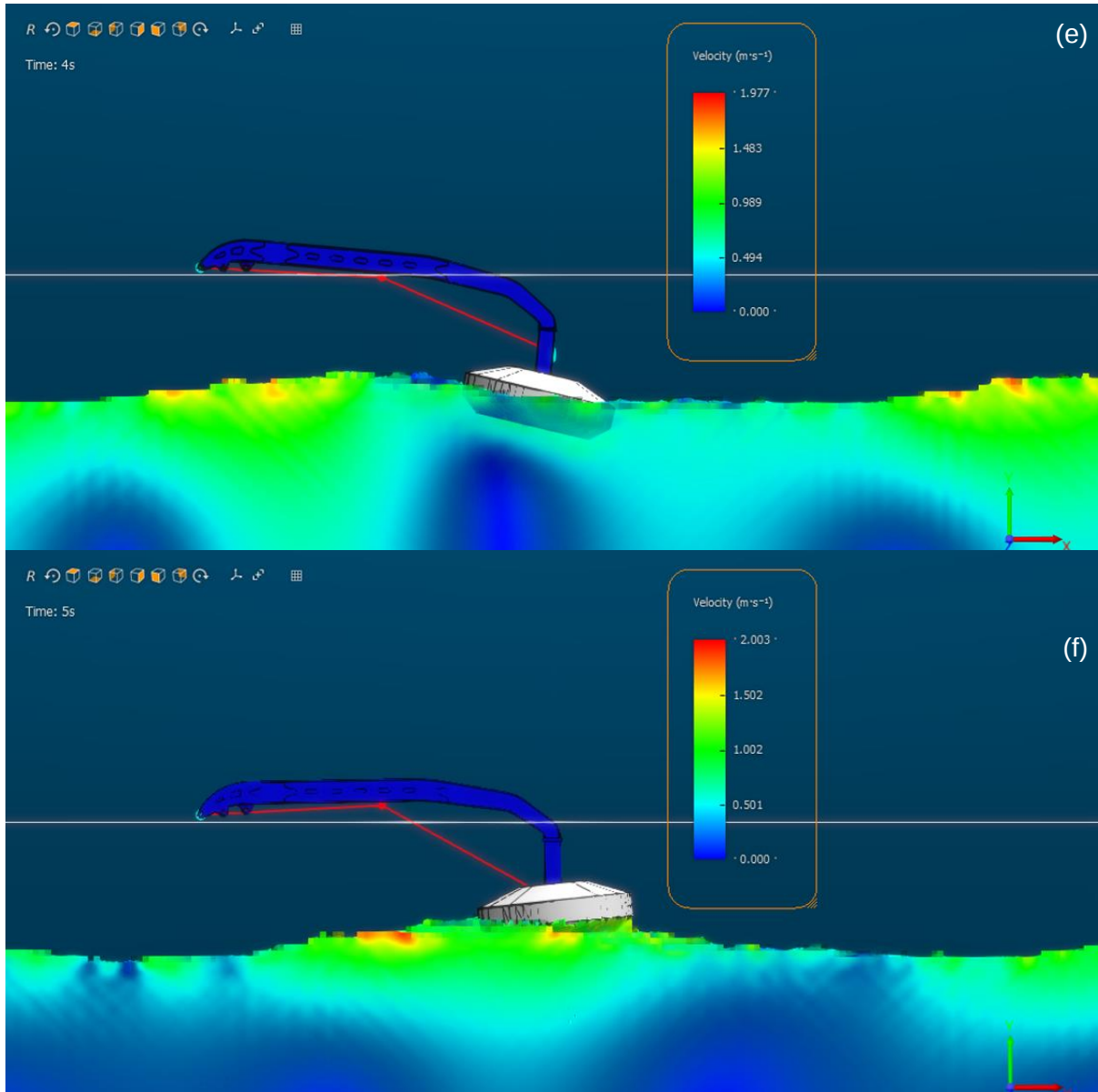
Şekil 3.13’de dalga modelinin başlangıç (t=0 saniye) konumu belirtilmektedir.

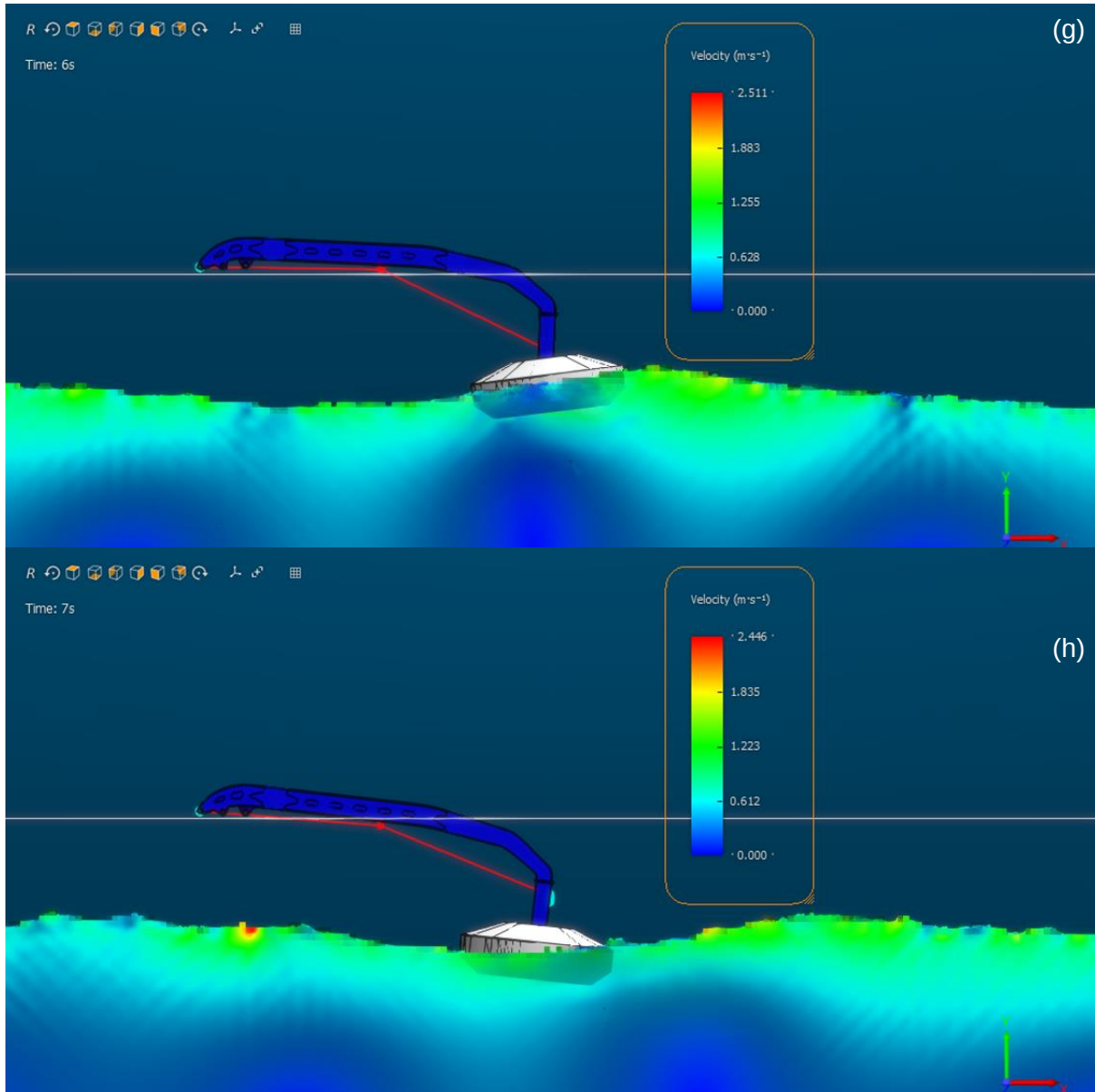


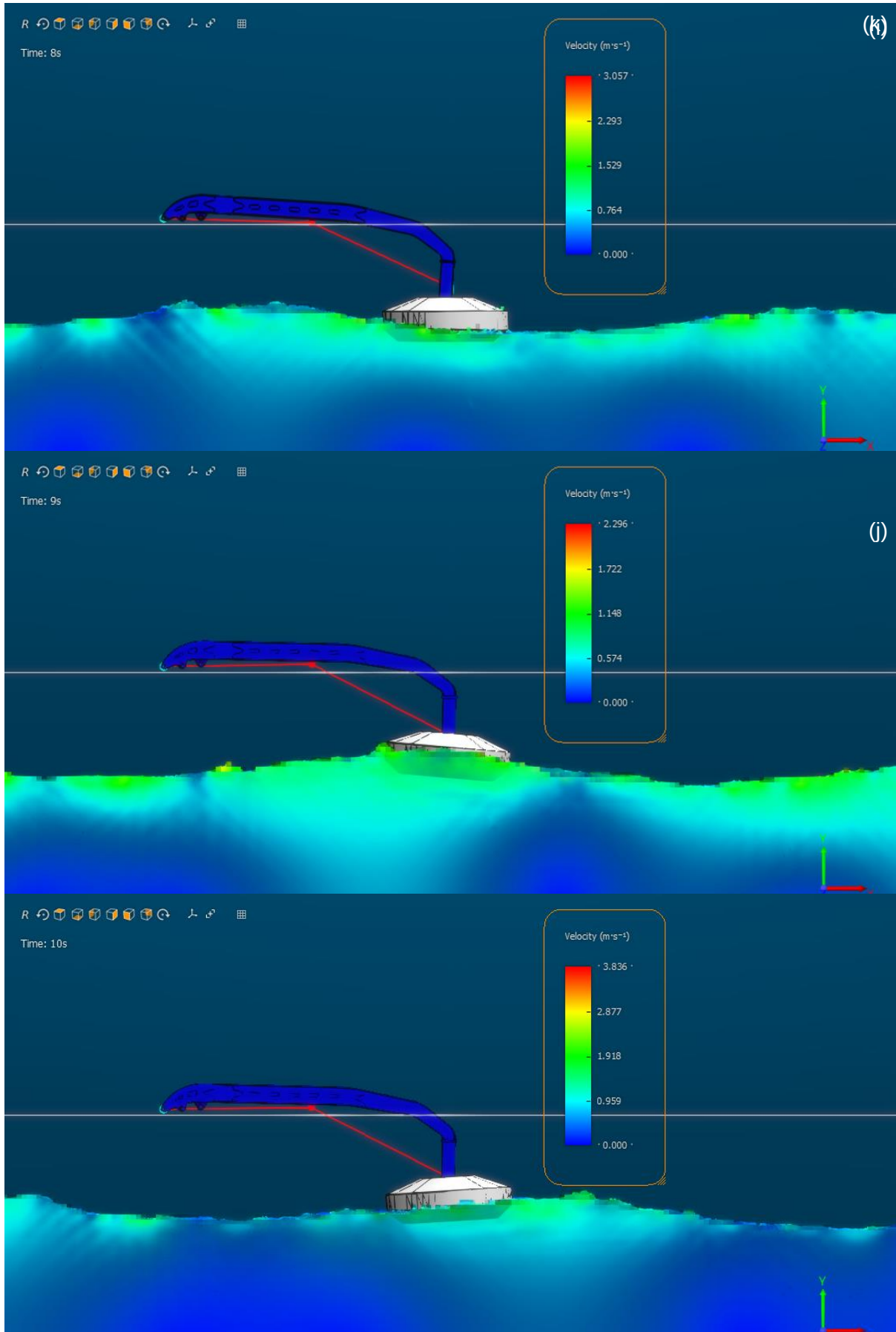
Şekil 3.13. Dalga enerji dönüştürücü sistemin akış analiz programında dalga modelinin başlangıç anı görüntüleri (a) izometrik görünüm, b) yan görünüm).

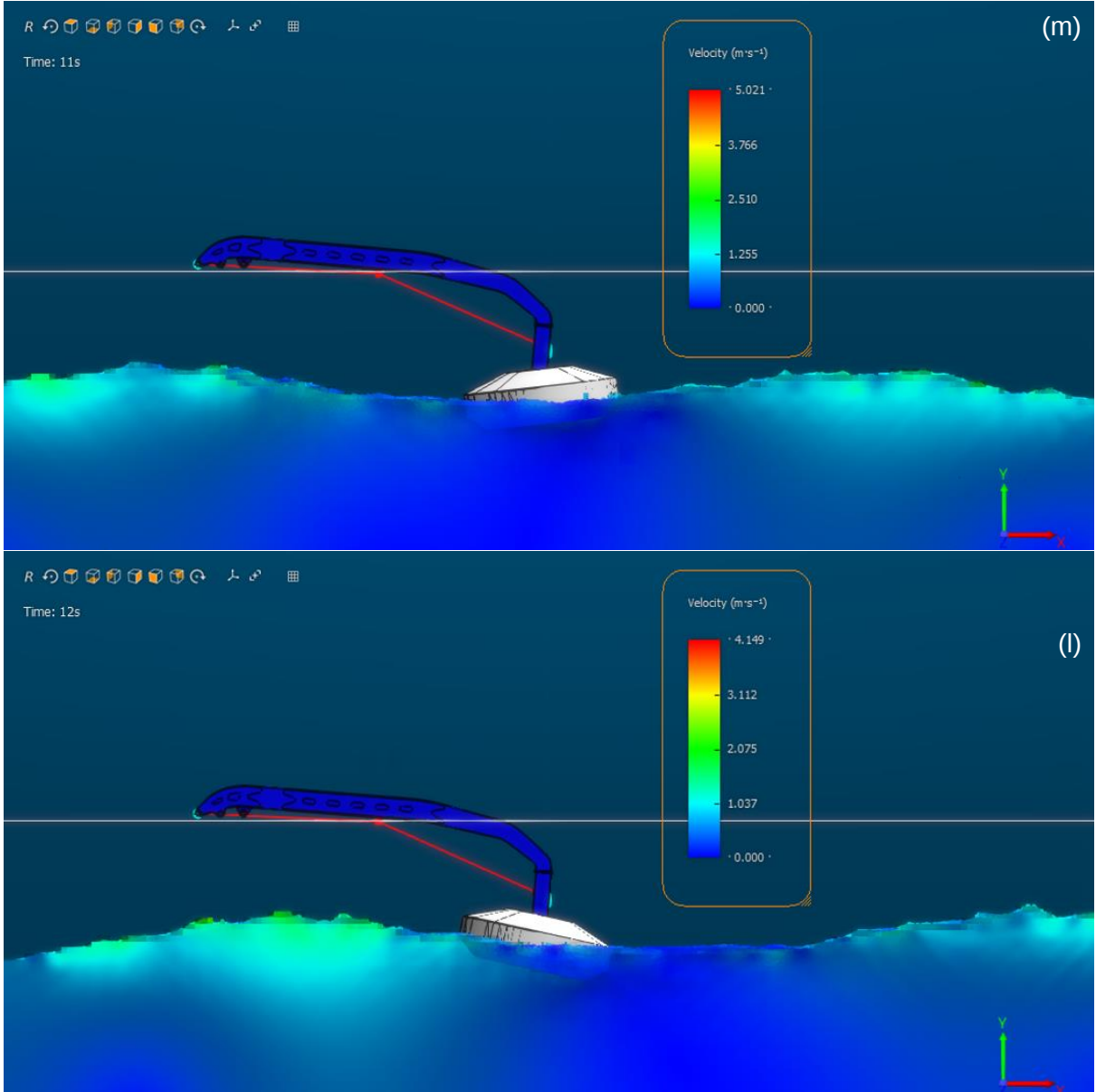






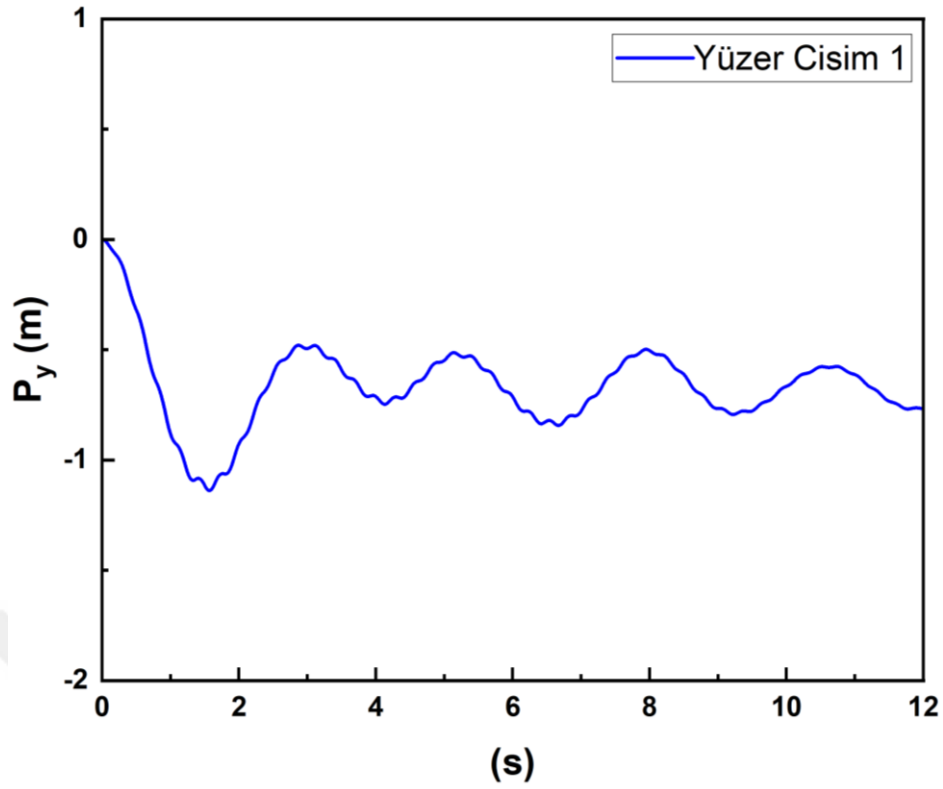






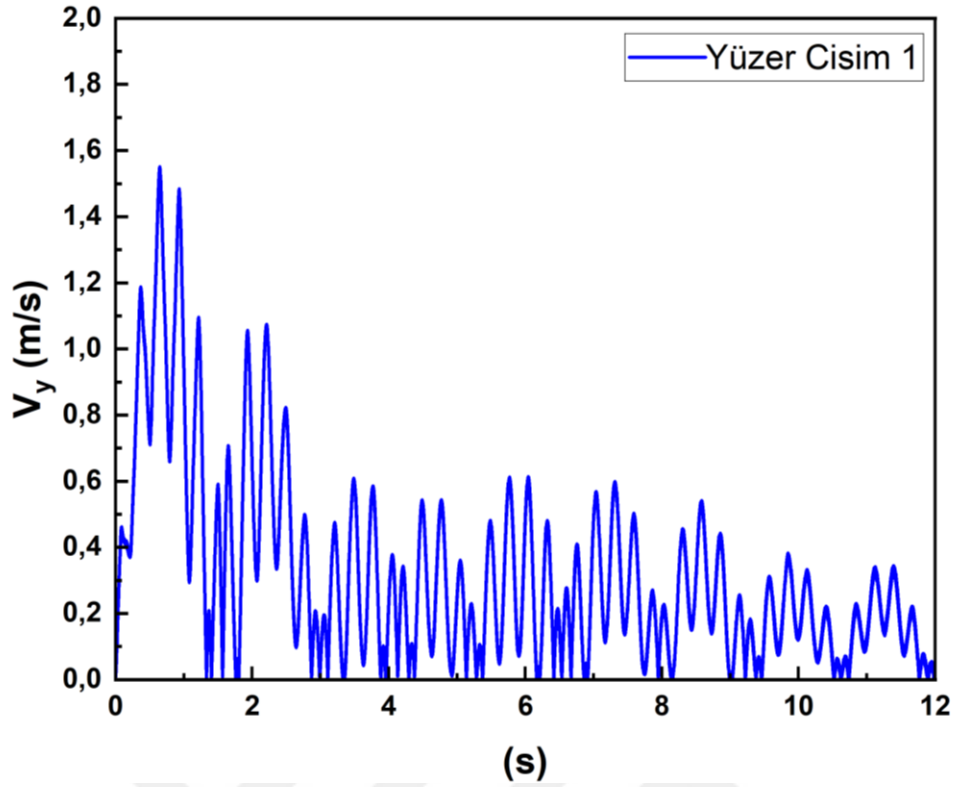
Şekil 3.14. 1. yüzer cismin montajı ile oluşturulan DEÇ sistemin akış analiz programı dalga modelinin zamana bağlı görünüşleri (a) $t=0$ s anı, b) $t=1$ s anı, c) $t=2$ s anı, d) $t=3$ s anı, e) $t=4$ s anı, f) $t=5$ s anı, g) $t=6$ s anı, h) $t=7$ s anı, i) $t=8$ s anı, j) $t=9$ s anı, k) $t=10$ s anı, l) $t=11$ s anı, m) $t=12$ s anı.

Şekil 3.14’de modelin 0-12 s zaman aralığındaki adımlarındaki analiz sonuçları belirtilmektedir. Şekil 3.14’de belirtildiği gibi, yüzer cisim 1’in öngörülen dalga modeline göre yüzebildiği görülmektedir. DEÇ sistemindeki yüzer cismin düşey yer değiştirmesinin zamana göre değişim grafiği Şekil 3.15’te belirtilmiştir. Ayrıca yüzer cismin zamana bağlı hız dağılımı da Şekil 3.16.’da belirtilmiştir.



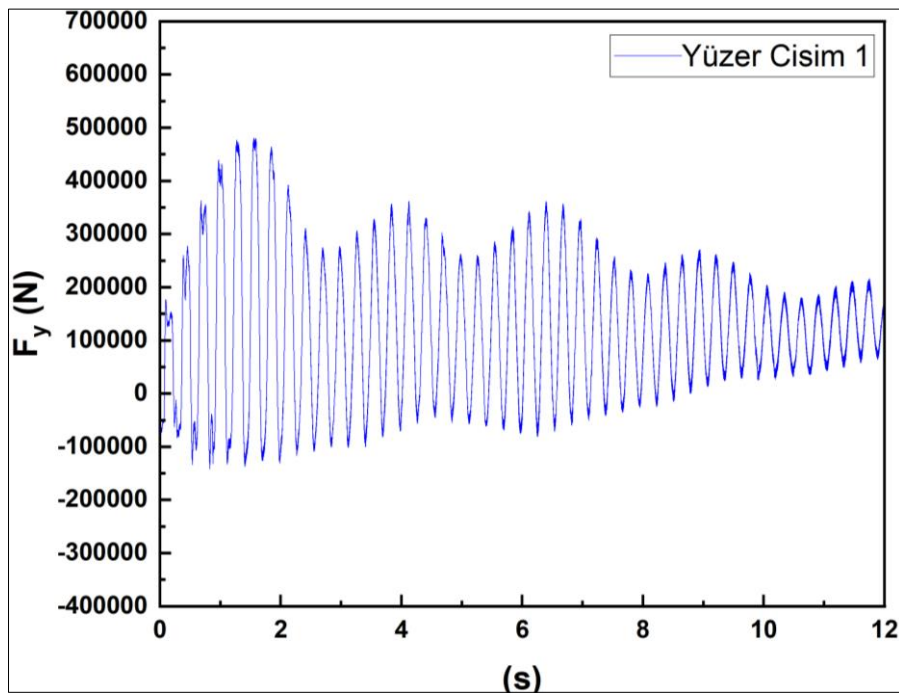
Şekil 3.15. Dalga enerji dönüştürücü sistemindeki yüzer cismin düşey yer değiştirmesinin zamana göre değişim grafiği

Şekil 3.15’de belirtildiği gibi dalga yüksekliği 1 m olmasına karşın yüzer cisim maksimum 1.2 m yüksekliğe çıktığı görülmektedir. Bu da dalga hareketinin potansiyel enerjisinin yanı sıra sahip olduğu kinetik enerji etkilerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.16’da belirtildiği gibi yüzer cismin sahip olduğu maksimum hızın mutlak değerinin 0.5 m/s civarında olduğu görülmektedir.



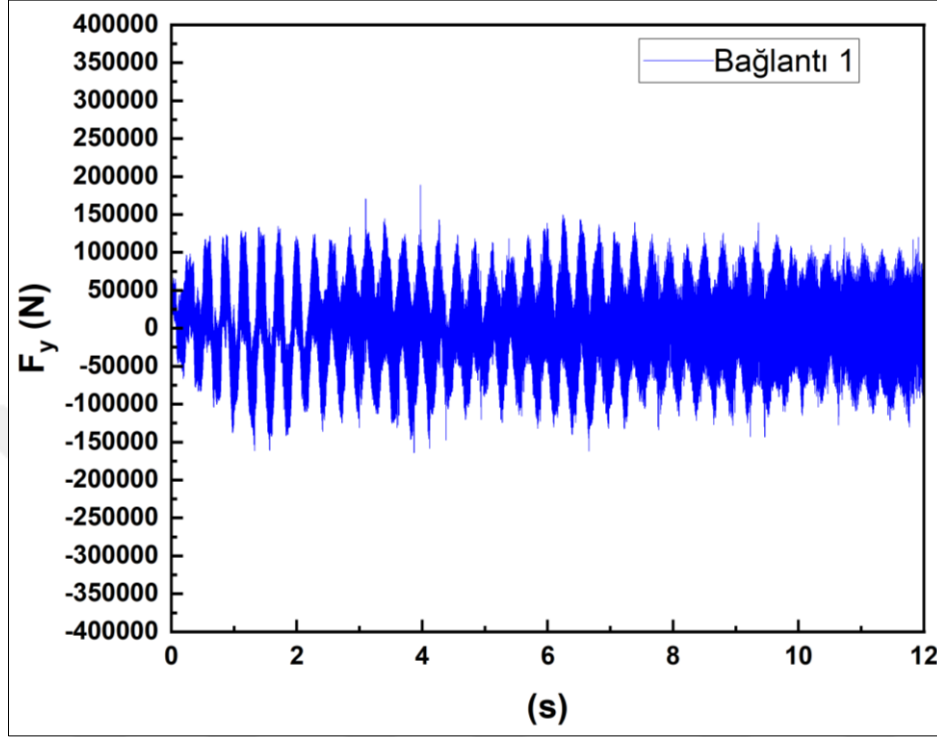
Şekil 3.16. Dalga enerji dönüştürücü sistemindeki yüzer cismin düşey hızının zamana göre değişim grafiği

3.2.1. 1. Yüzer cisme Y ekseninde etkiyen kuvvetler

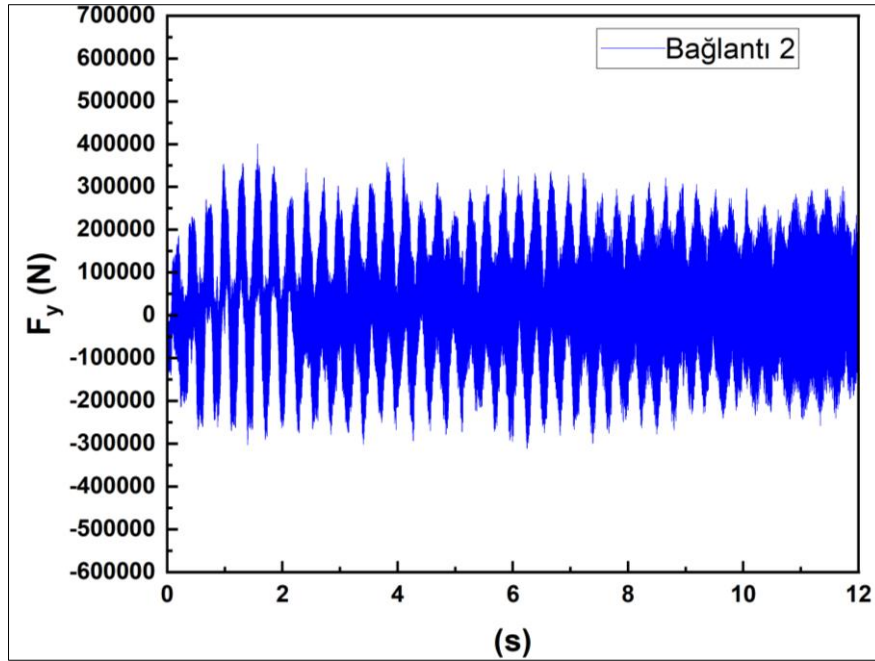


Şekil 3.17. Dalga enerji çevirici sistemde, yüzer cisme etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.

Şekil 3.17’de görüleceği üzere yüzer cisme düşey yönde etkiyen kuvvetin ortalama 144583 N olduğu görülmektedir. Hızın mutlak değerinin minimum 0 ile maksimum 0.5 m/s aralığında değiştiği düşünüldüğünde anlık gücün de 0 ile 72.3 kW arasında değiştiği söylenebilir.



Şekil 3.18. 1. Bağlantı noktasına y ekseninde etkiyen kuvvetin gösterimi.

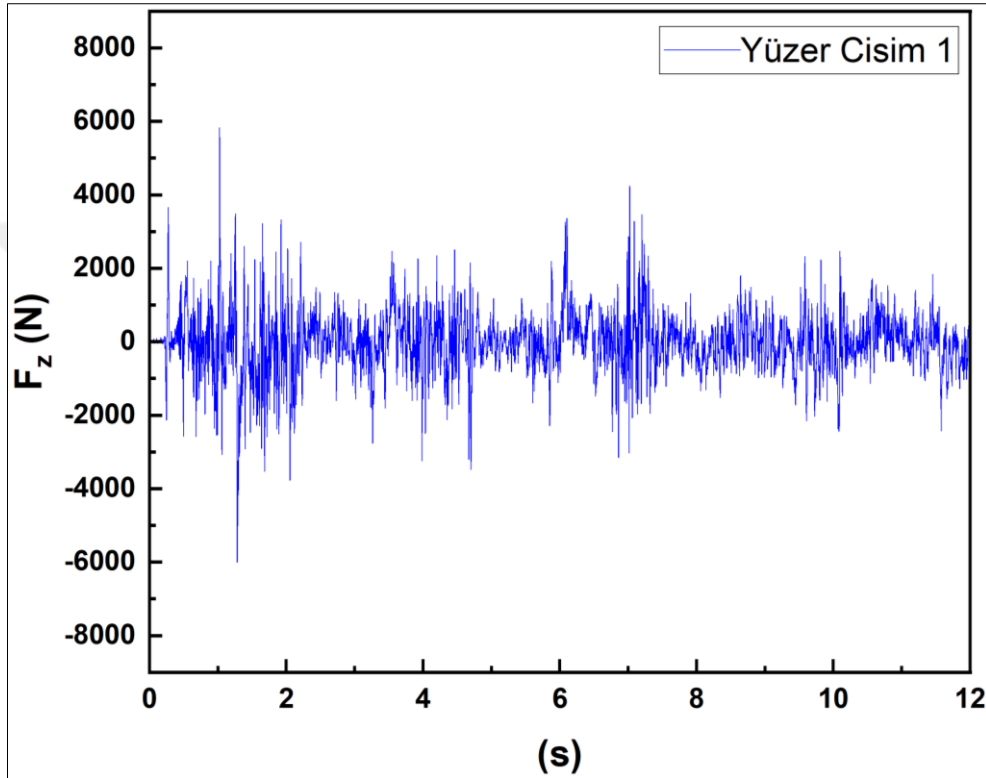


Şekil 3.19. 2. Bağlantı noktasına y ekseninde etkiyen kuvvetin gösterimi.

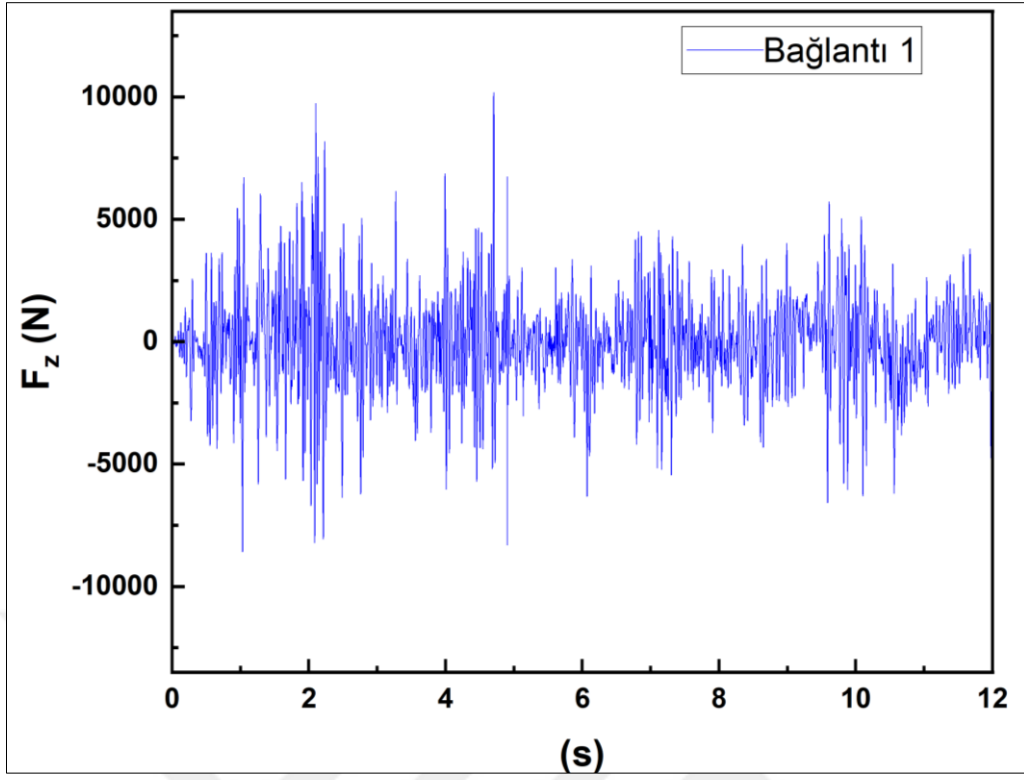
Şekil 3.18. ve Şekil 3.19.’da Bağlantı 1 ve Bağlantı 2 noktalarına y ekseninde etkiyen kuvvetin 0-12 s zaman aralığında gösterimi belirtilmektedir.

3.2.2. 1. Yüzer cisme Z ekseninde etkiyen kuvvetler

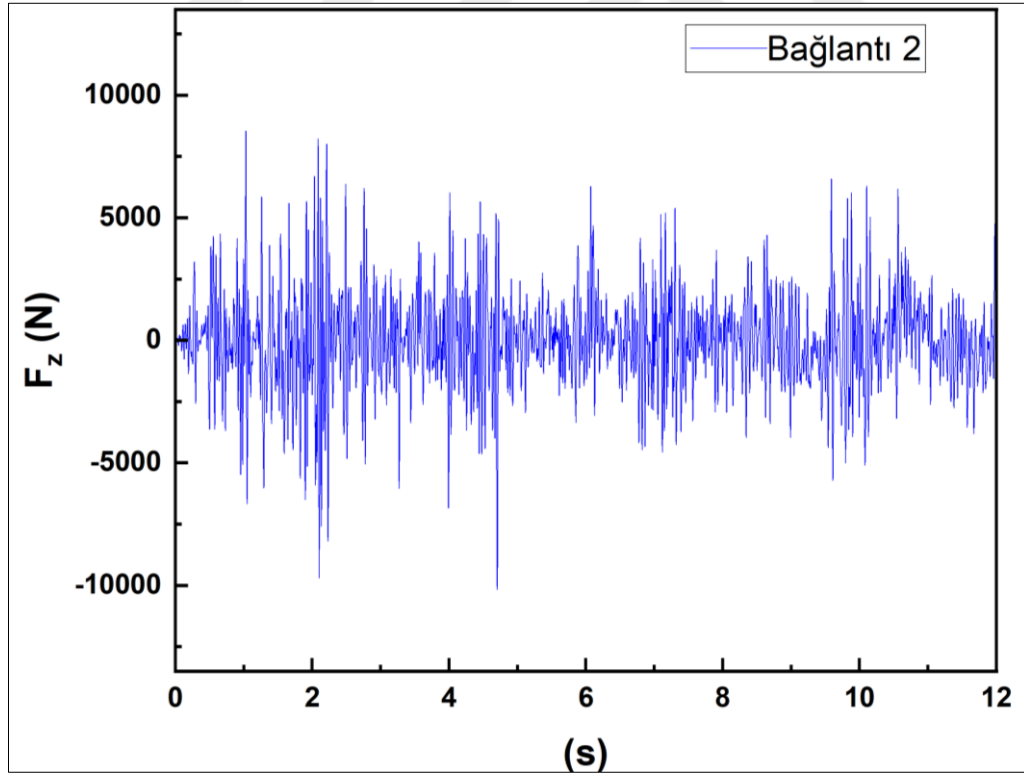
Şekil 3.20.’de yüzer cisme z ekseninde etkiyen kuvvet, Şekil 3.21.’de Bağlantı 1 ‘e z ekseninde etkiyen kuvvet, Şekil 3.22.’de ise Bağlantı 2’ye z ekseninde etkiyen kuvvet belirtilmektedir.



Şekil 3.20. Dalga enerji çevirici sistemde, yüzer cisme z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.



Şekil 3.21. 1. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin gösterimi.

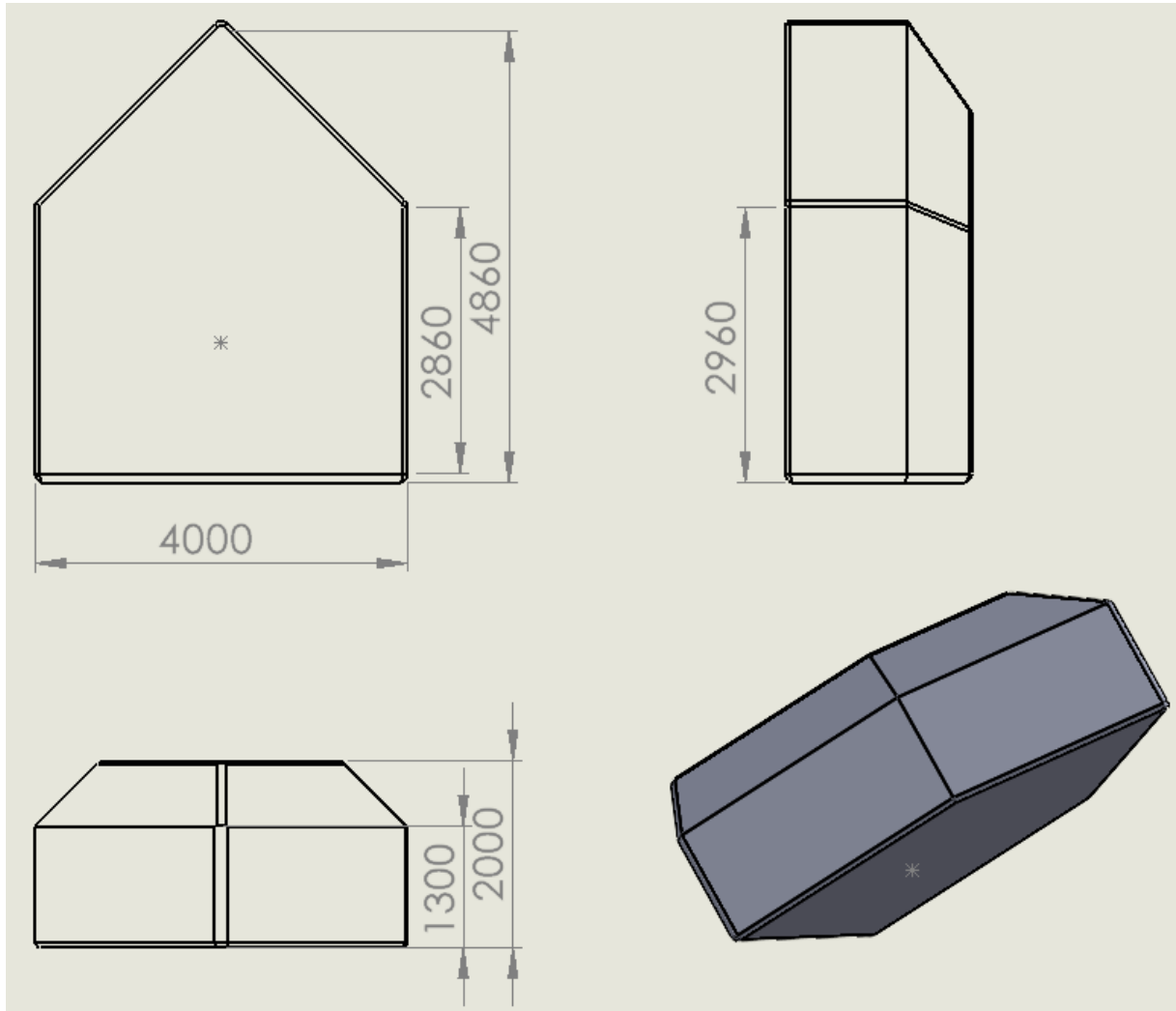


Şekil 3.22. 2. Bağlantı noktasına, z ekseninde etkiyen kuvvetin gösterimi.

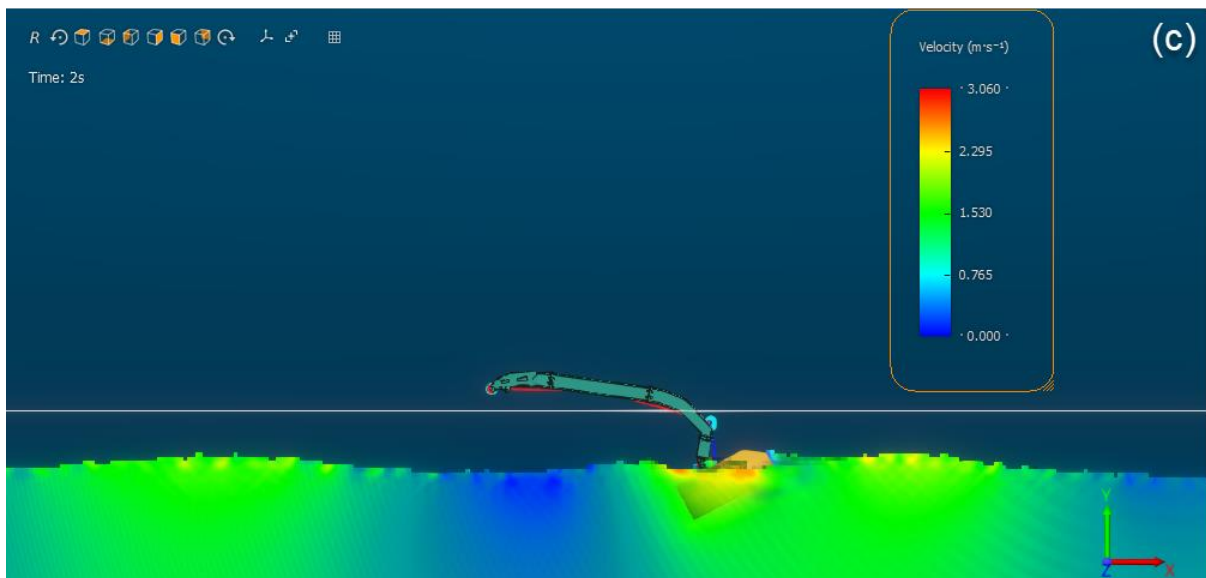
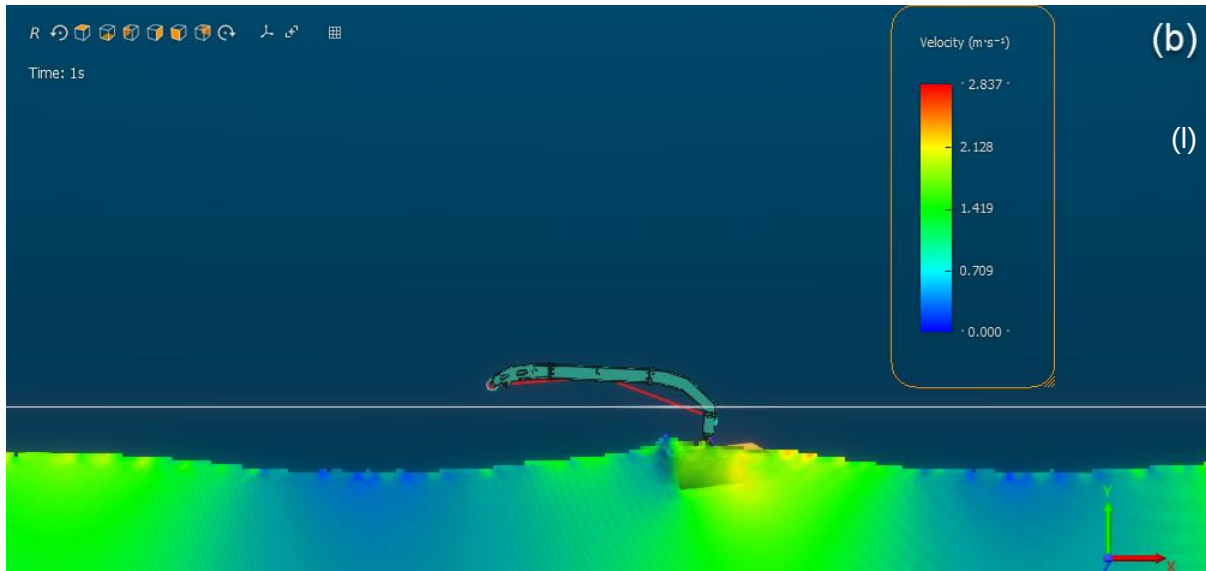
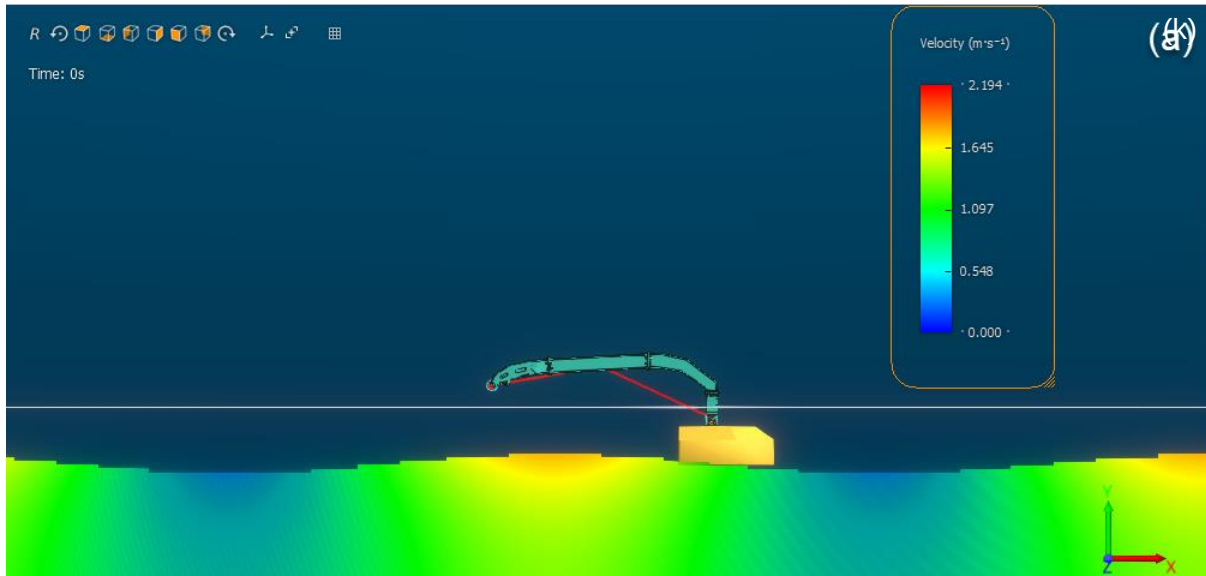
3.3. Farklı Duba Geometrilerinin akış analizlerine etkisi

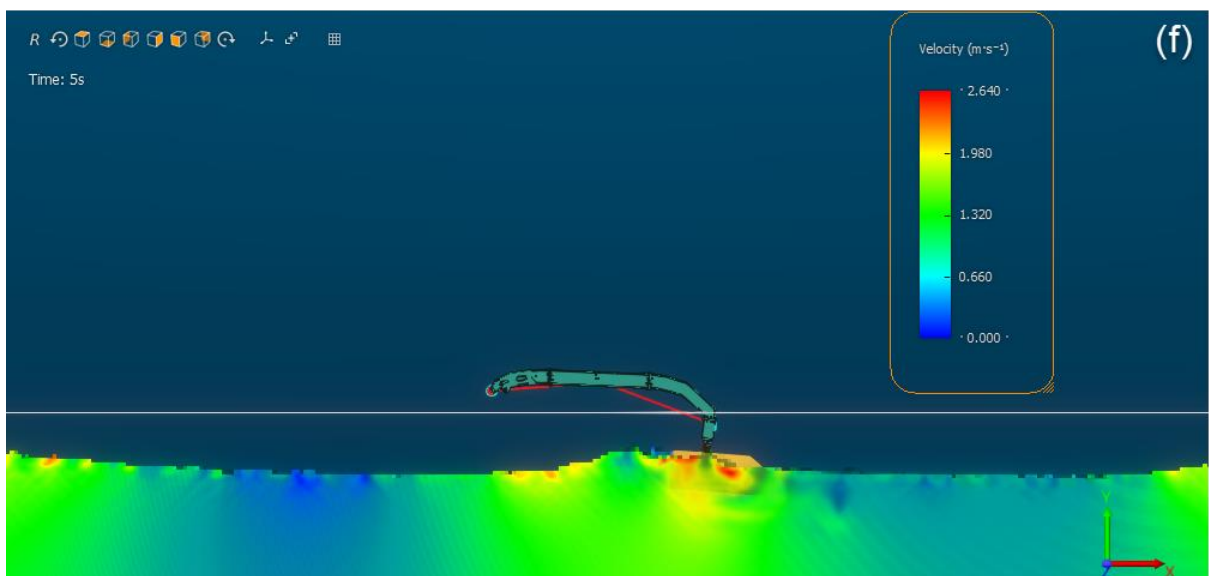
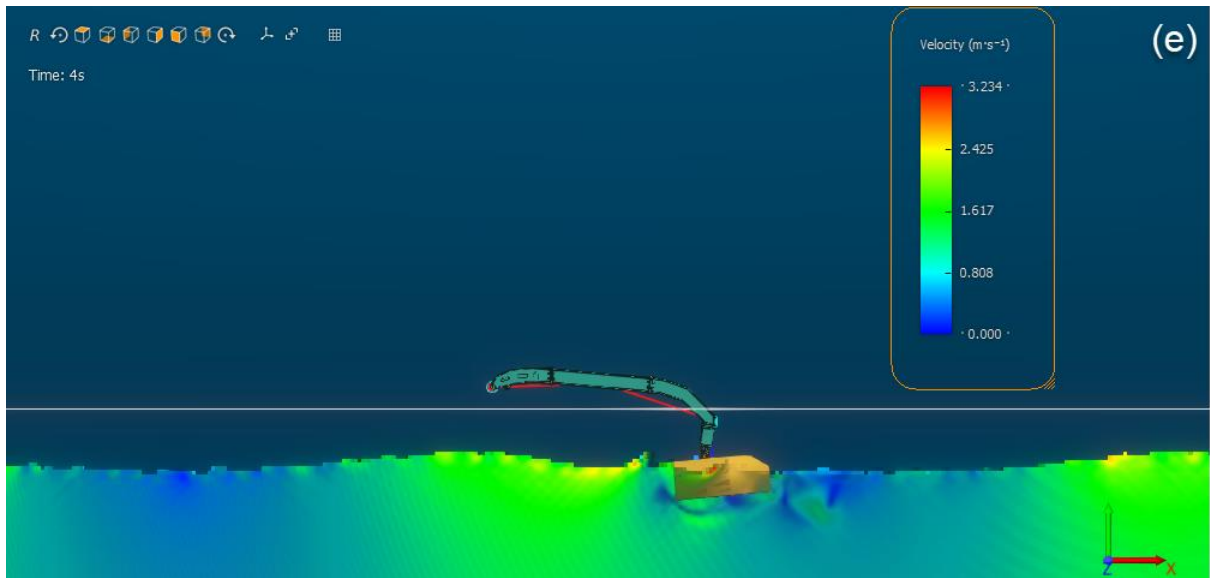
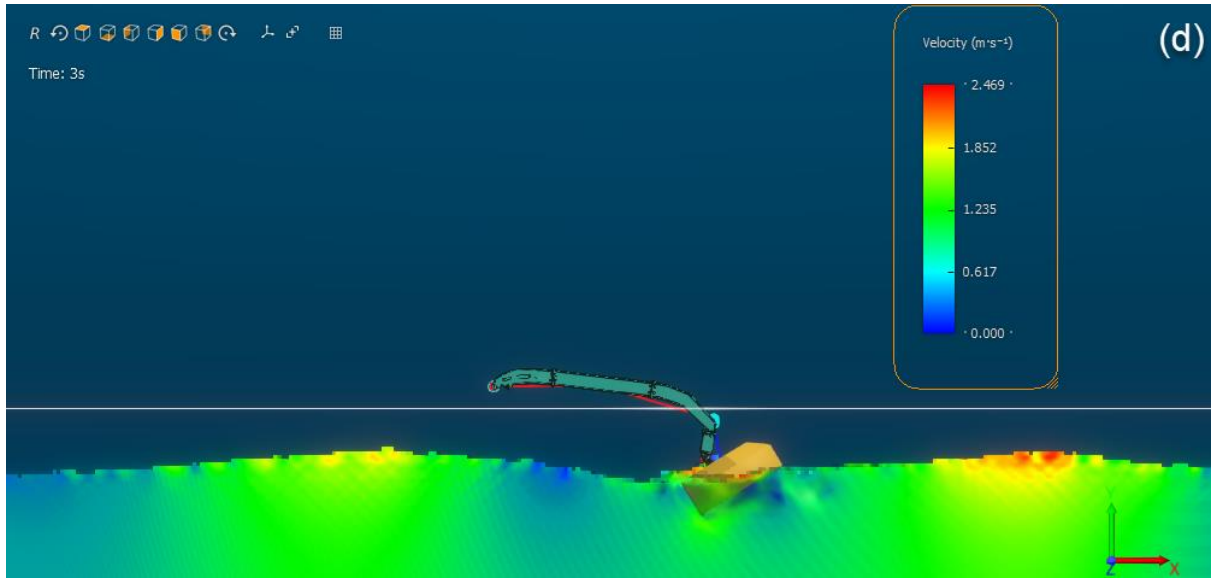
3.3.2. 2. Yüzer cismin akış analizlerine etkisi

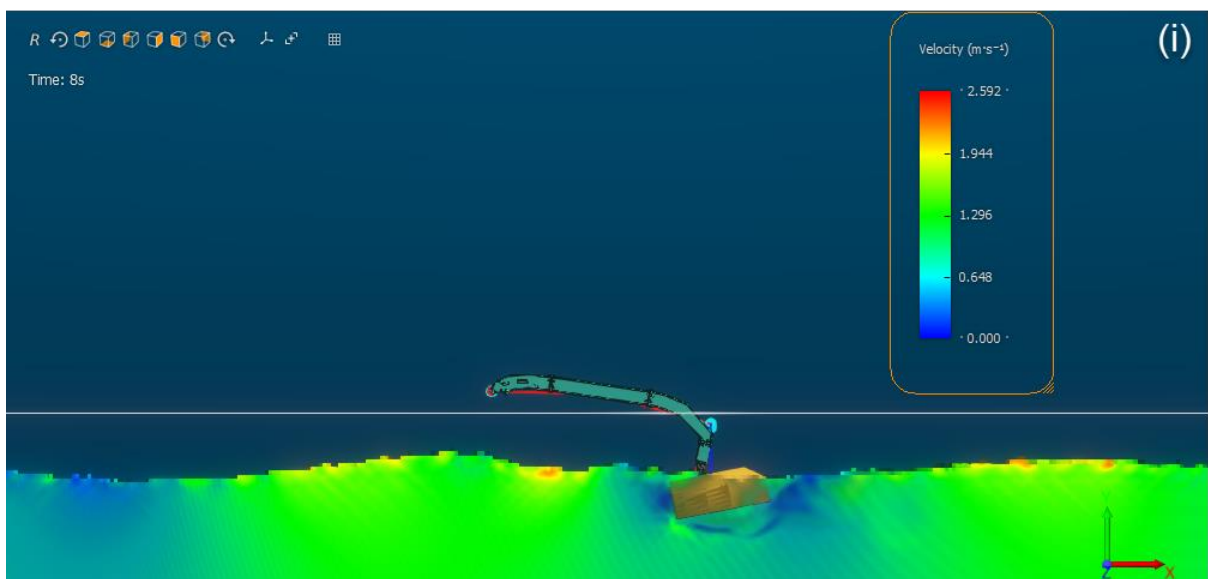
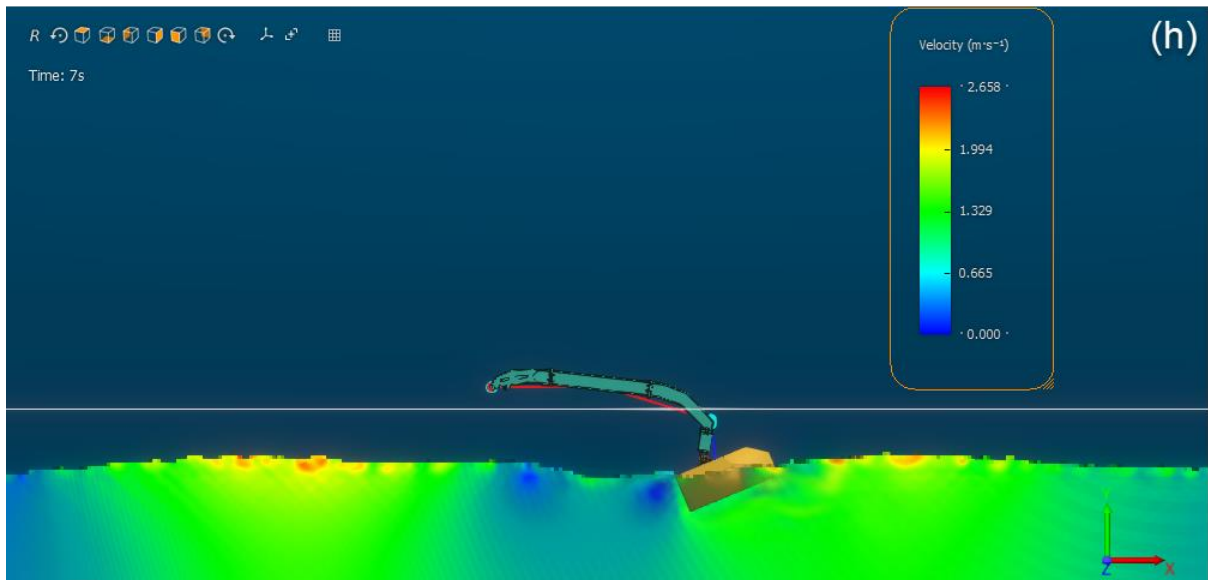
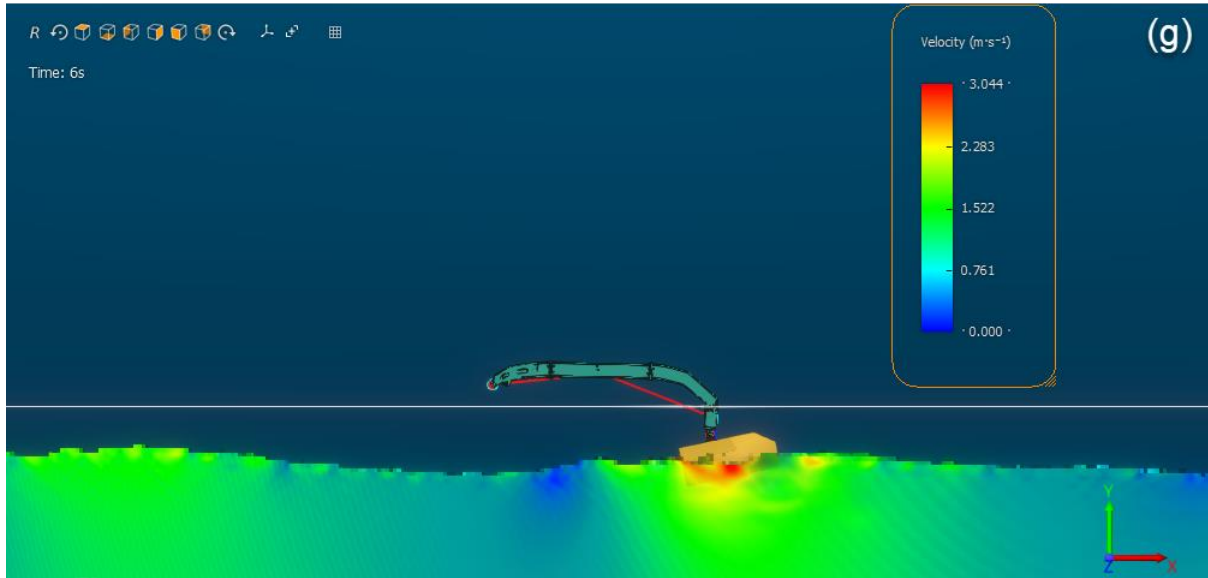
2. Yüzer cisim çiziminin detaylı ölçüleri Şekil 3.23'de belirtilmiştir. Akışkan analizlerinde 1. Yüzer cisim ile aynı dalga akış parametreleri 2. yüzer cisme de uygulanmıştır. Bu parametreler: suyun akış hızı 1 m/s, dalga frekansı 0.2 s^{-1} ve dalga yüksekliği 1 m'dir. Mekanik kol ağırlığı tüm yüzer cisimlerde aynı tanımlanmıştır. Tablo 1. ve Tablo 2.'de parametreler belirtilmiştir.

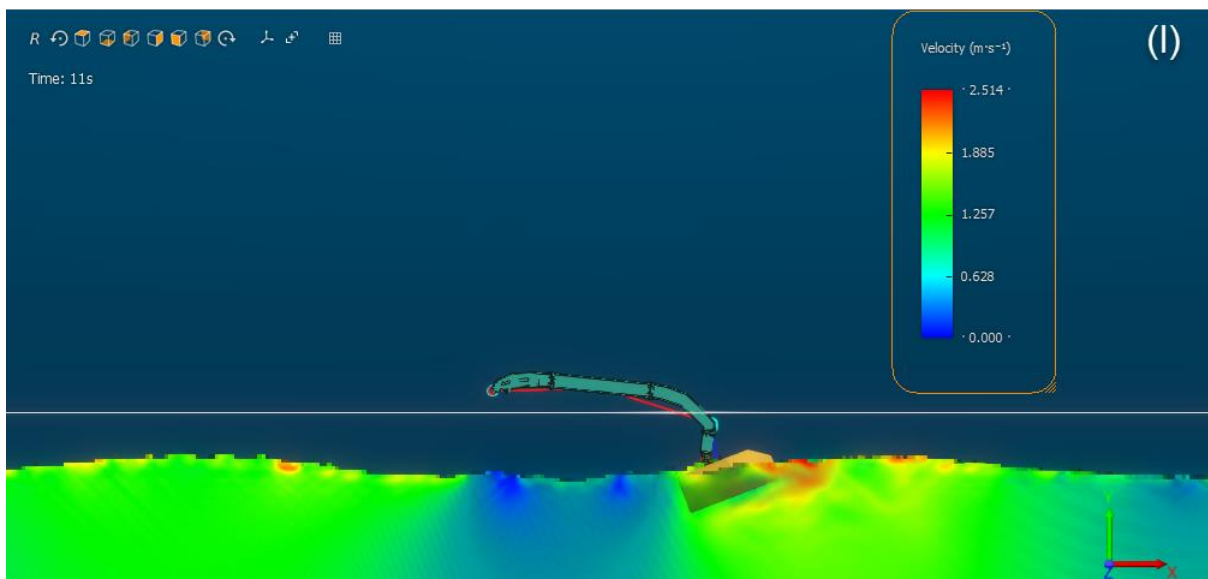
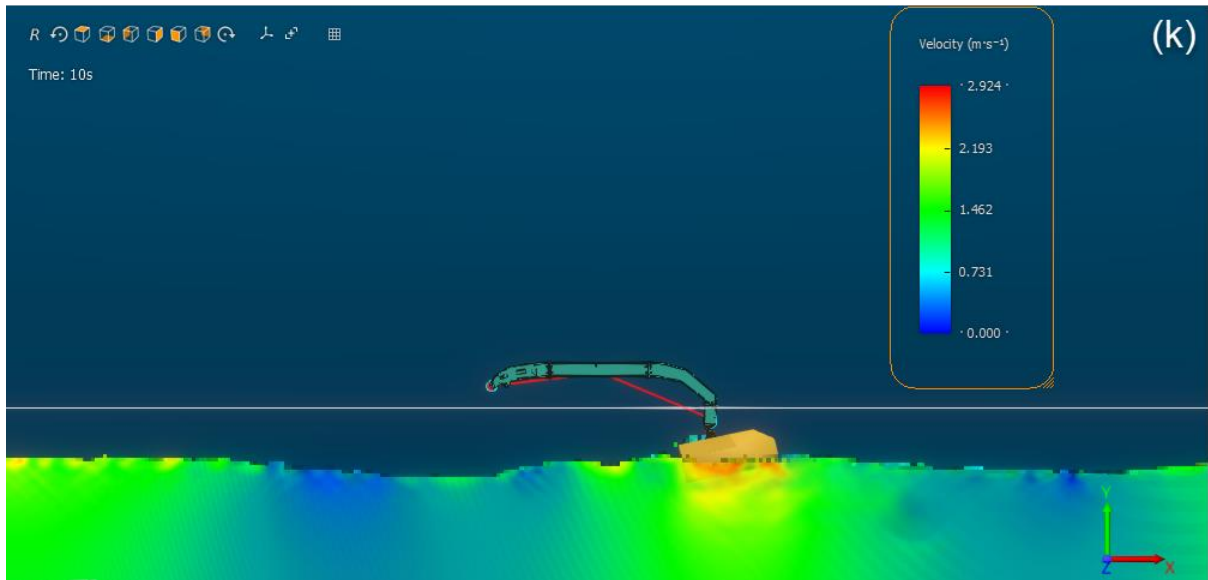
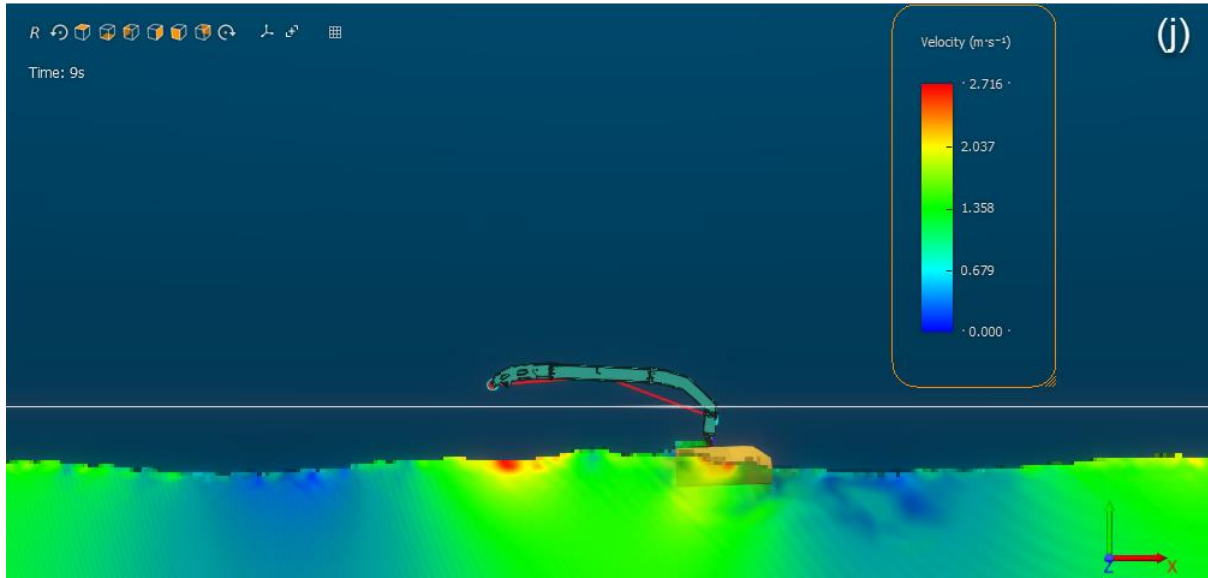


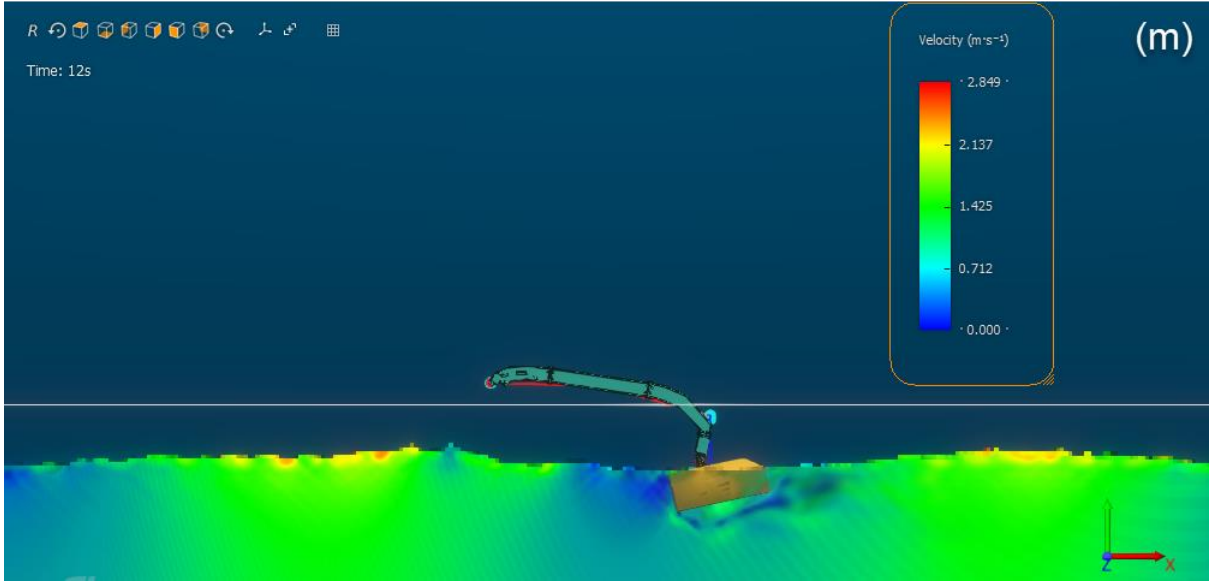
Şekil 3.23. 2. Yüzer cismin temel ölçüleri.







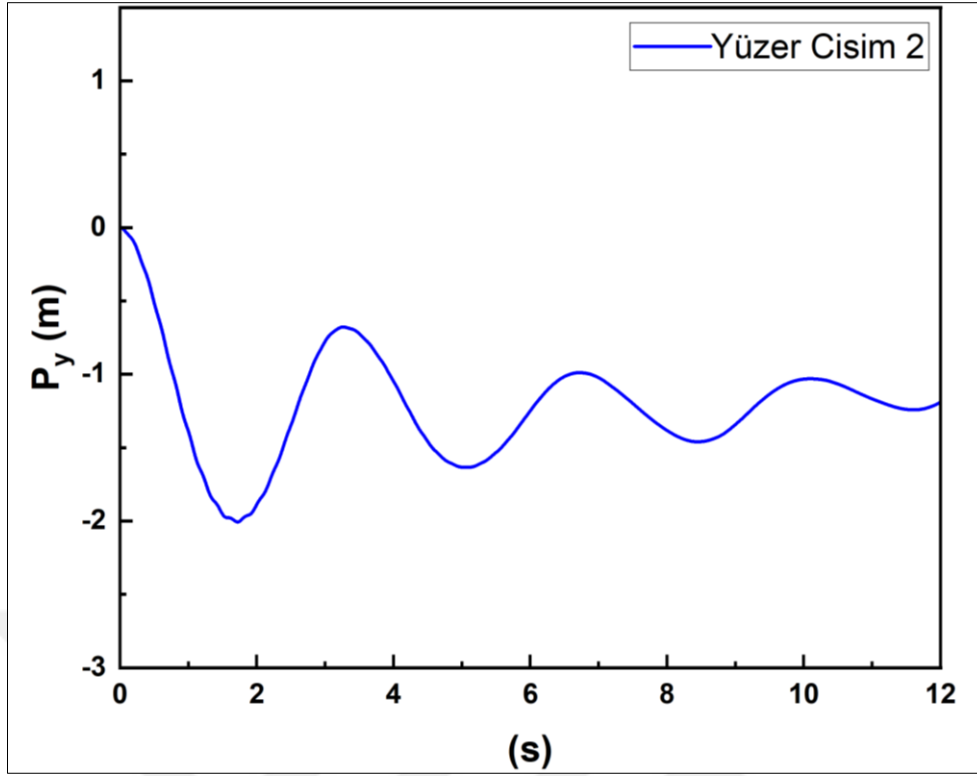




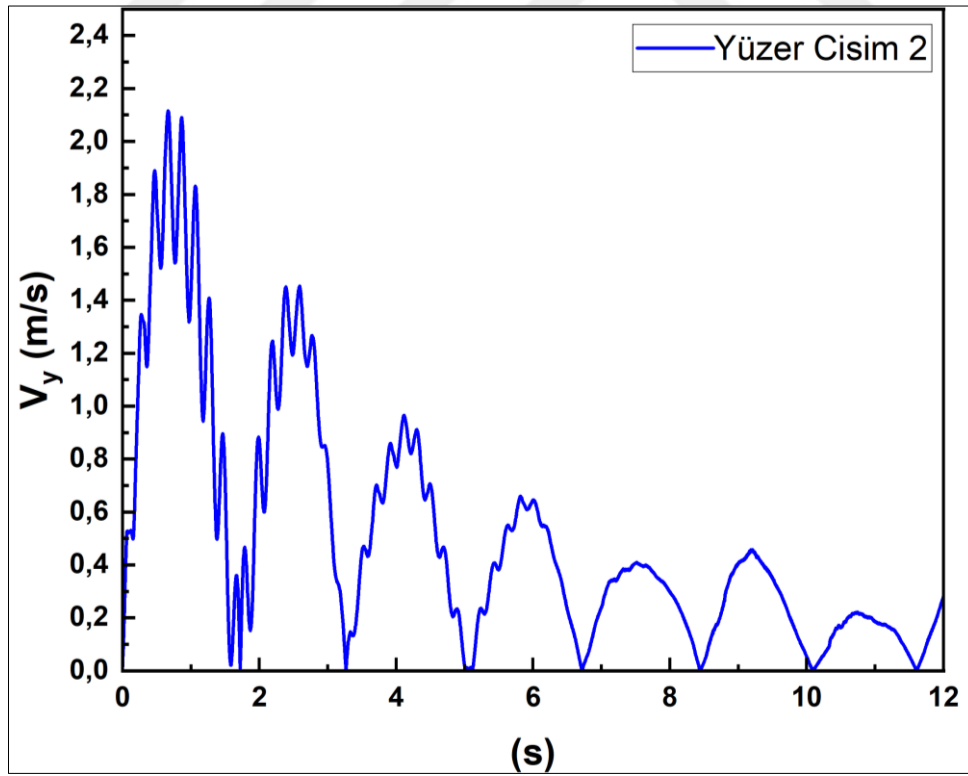
Şekil 3.24. 2. yüzer cismin montajı ile oluşturulan DEÇ sistemin akış analiz programı dalga modelinin zamana bağlı görüntüleri (a) $t=0$ s anı, b) $t=1$ s anı, c) $t=2$ sn anı, d) $t=3$ s anı, e) $t=4$ s anı, f) $t=5$ s anı, g) $t=6$ s anı, h) $t=7$ s anı, i) $t=8$ s anı, j) $t=9$ s anı, k) $t=10$ s anı, l) $t=11$ s anı, m) $t=12$ s anı.

Şekil 3.24’de belirtildiği gibi, yüzer cisim 2’nin öngörülen dalga modeline göre yüzebildiği görülmektedir. 1 m’lik dalga yüksekliğine ait yüzer cismin düşey hareketinin zamana göre değişimi Şekil 3.25’teki grafikte belirtilmiştir. Ayrıca yüzer cismin zamana bağlı hız dağılımı da Şekil 3.26.’da belirtilmiştir.

Şekil 3.25’te belirtildiği gibi dalga yüksekliği 1 m olmasına karşın yüzer cisim maksimum 2 m yüksekliğe çıktığı görülmektedir. Bu da dalga hareketinin potansiyel enerjisinin yanı sıra sahip olduğu kinetik enerji etkilerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.26’da belirtildiği gibi yüzer cismin sahip olduğu maksimum hızın mutlak değerinin 0.54 m/s civarında olduğu görülmektedir.



Şekil 3.25. Dalga enerji dönüştürücü sistemindeki 2. yüzer cismin düşey yer değiştirmesinin zamana göre değişim grafiği

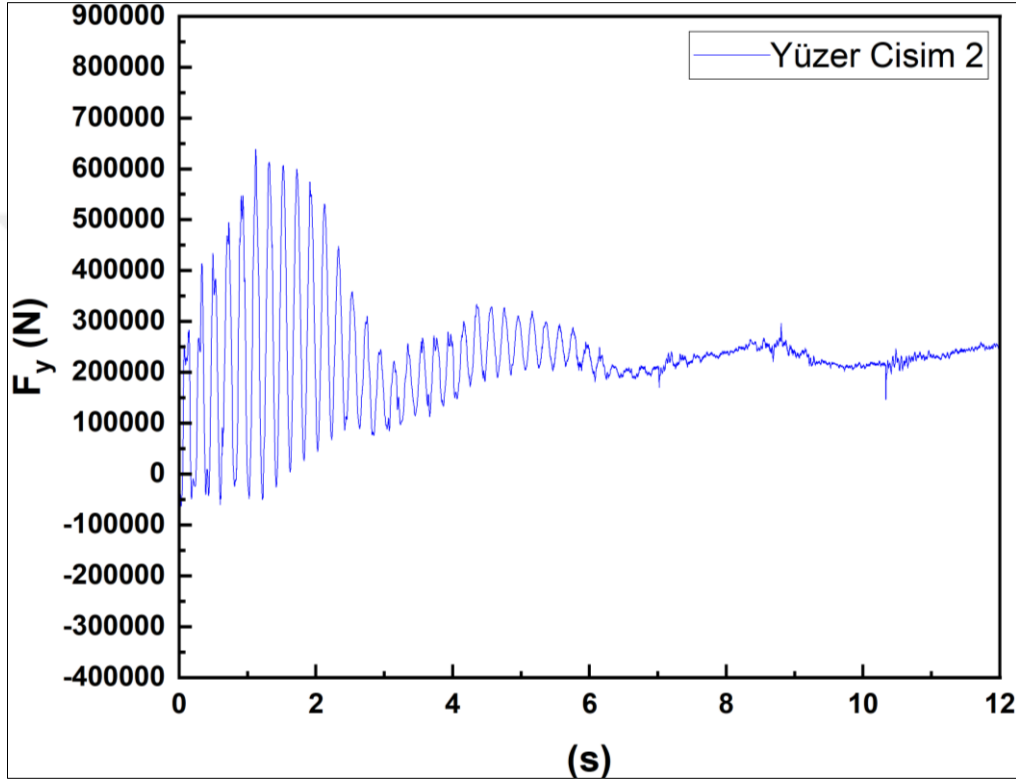


Şekil 3.26. Dalga enerji dönüştürücü sistemindeki 2. yüzer cismin düşey hızının zamana göre değişim grafiği

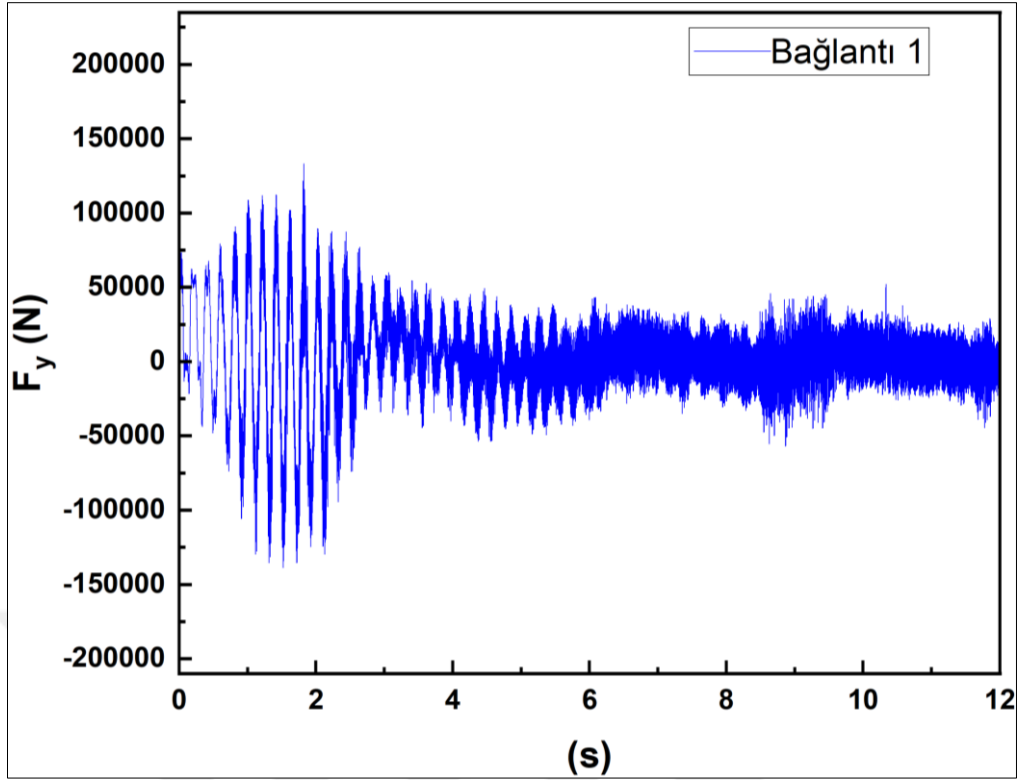
3.3.1.2. 2. Yüzer cisme Y ekseninde etkiyen kuvvetler

Şekil 3.27’de görüleceği üzere yüzer cisme düşey yönde etkiyen kuvvetin ortalama 230634N olduğu görülmektedir. Hızın mutlak değerinin minimum 0 ile maksimum 0.54 m/s aralığında değiştiği düşünüldüğünde anlık gücün de 0 ile 124,5 kW arasında değiştiği söylenebilir.

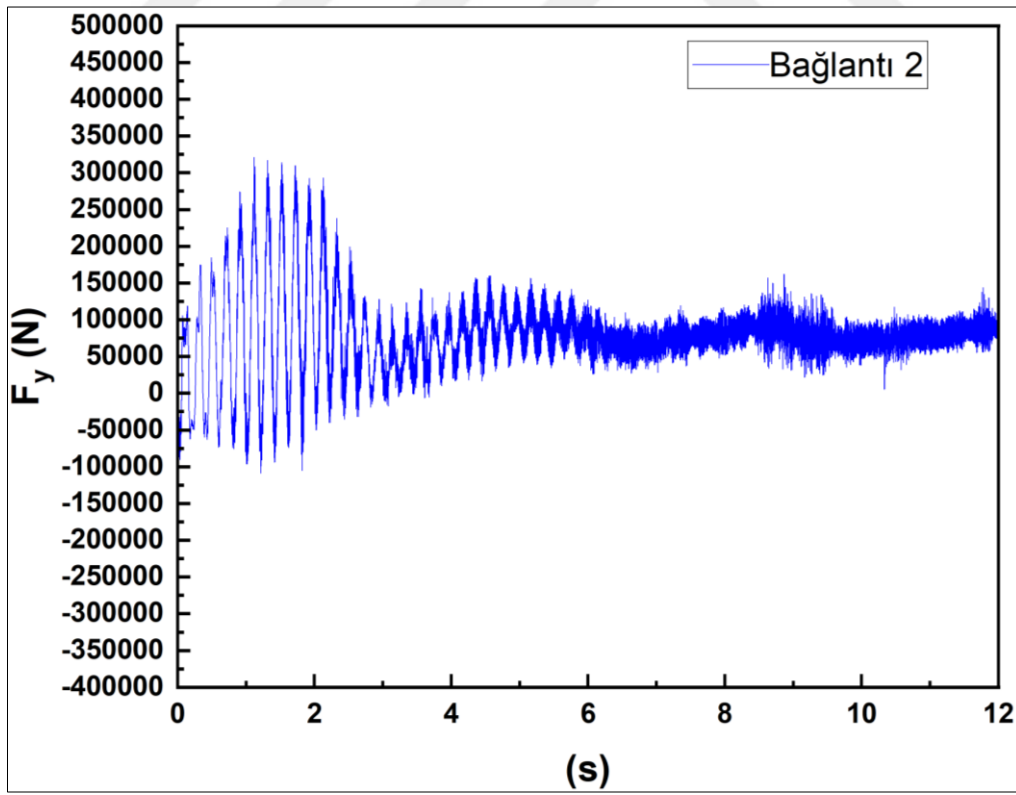
Şekil 3.28. ve Şekil 3.29.’de Bağlantı 1 ve Bağlantı 2 noktalarına y ekseninde etkiyen kuvvetin 0-12 s zaman aralığında gösterimi belirtilmektedir.



Şekil 3.27. Dalga enerji çevirici sistemde, 2. yüzer cisme etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.



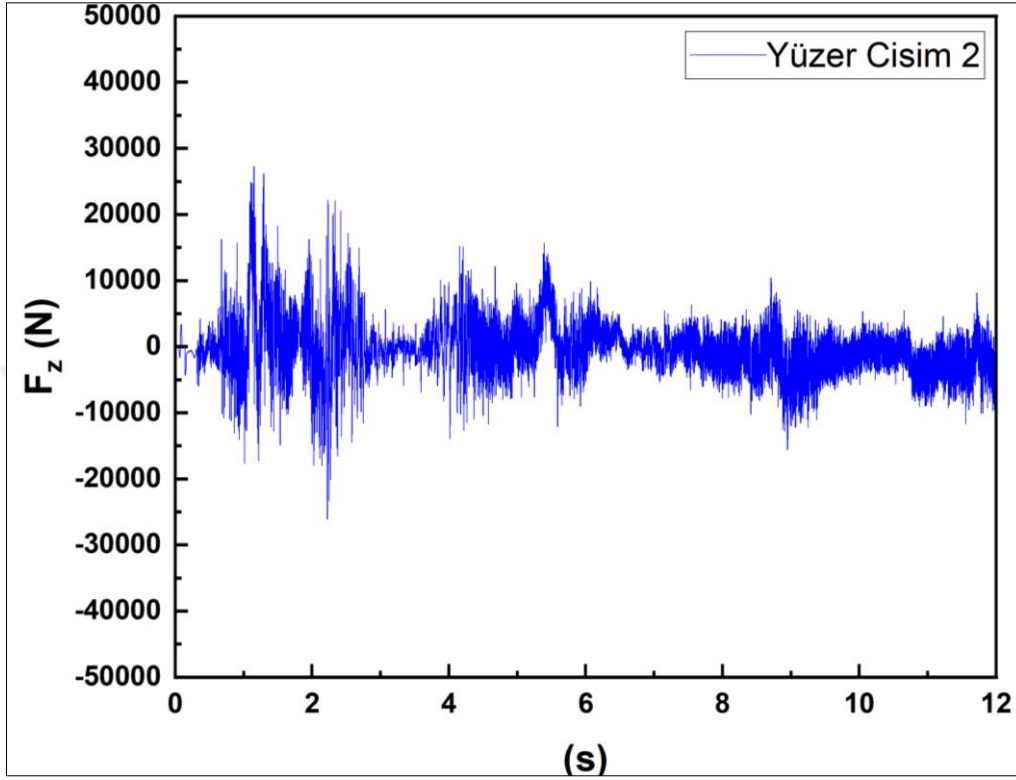
Şekil 3.28. 2. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 1. Bağlantı noktasına etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.



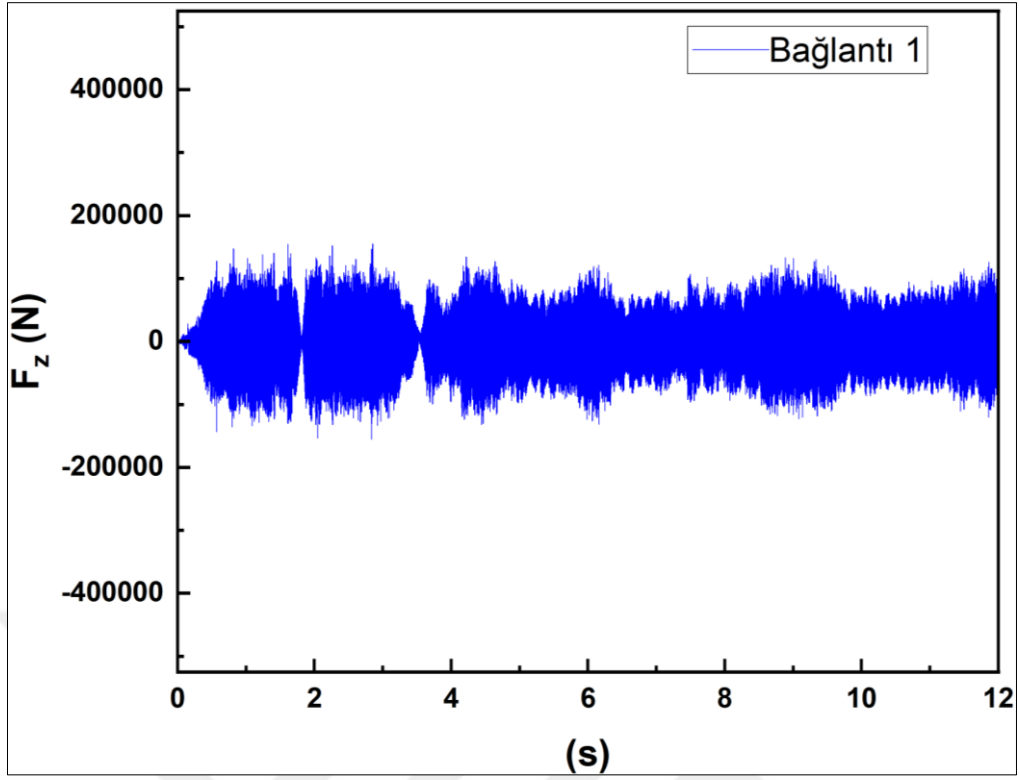
Şekil 3.29. 2. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 2. Bağlantı noktasına etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.

3.3.1.3. 2. Yüzer cisme Z ekseninde etkiyen kuvvetler

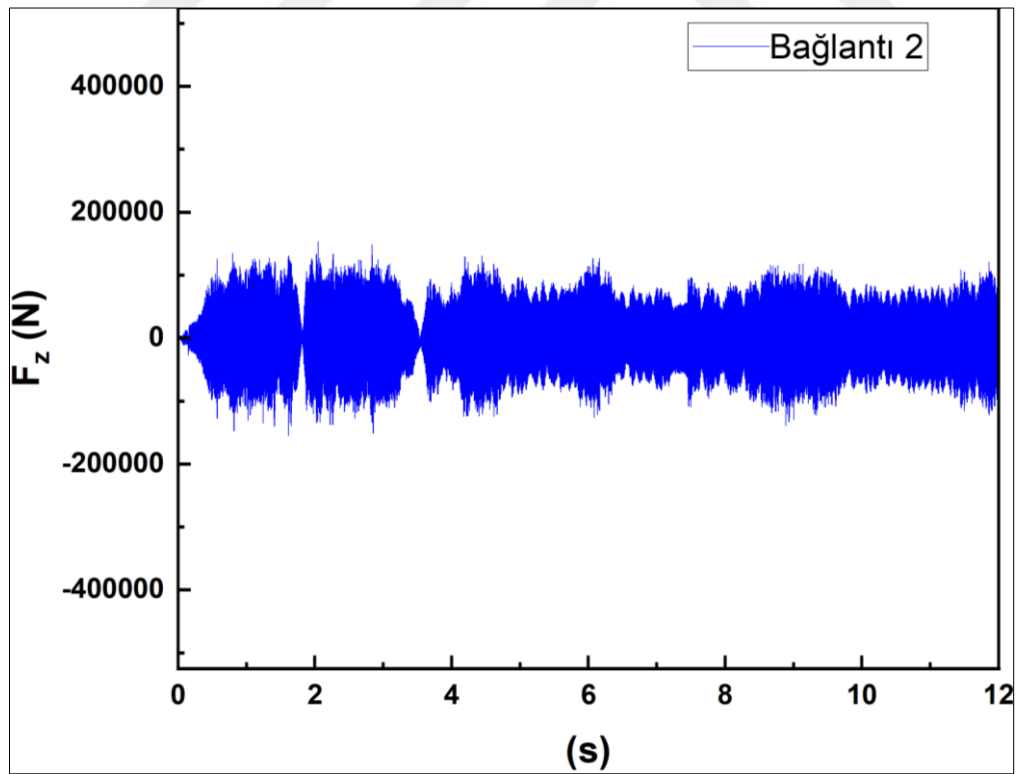
Şekil 3.30.'da 2. yüzer cisme z ekseninde etkiyen kuvvet, Şekil 3.31.'de Bağlantı 1 'e z ekseninde etkiyen kuvvet, Şekil 3.32.'de ise Bağlantı 2'ye z ekseninde etkiyen kuvvet belirtilmektedir.



Şekil 3.30. Dalga enerji çevirici sistemde, 2. yüzer cisme z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.



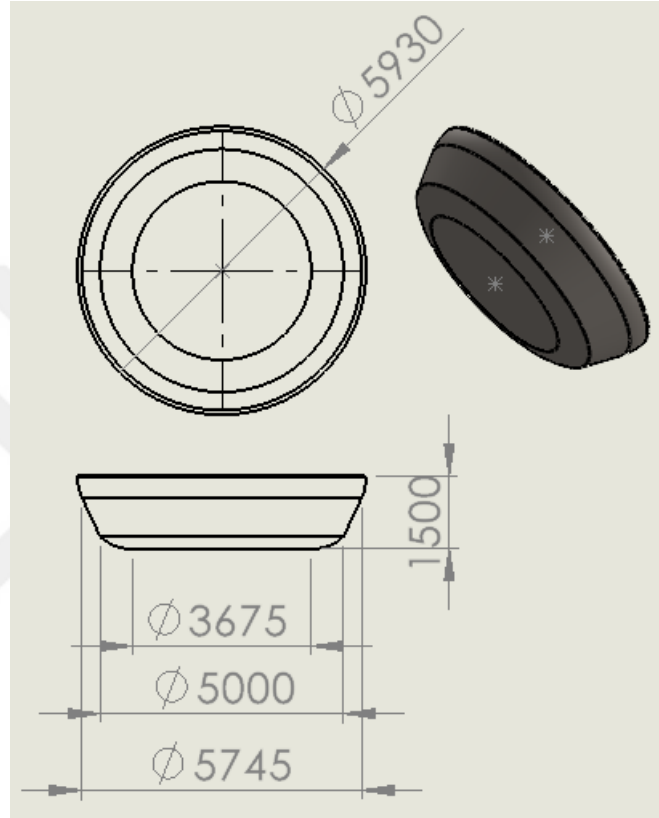
Şekil 3.31. 2. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 1. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.



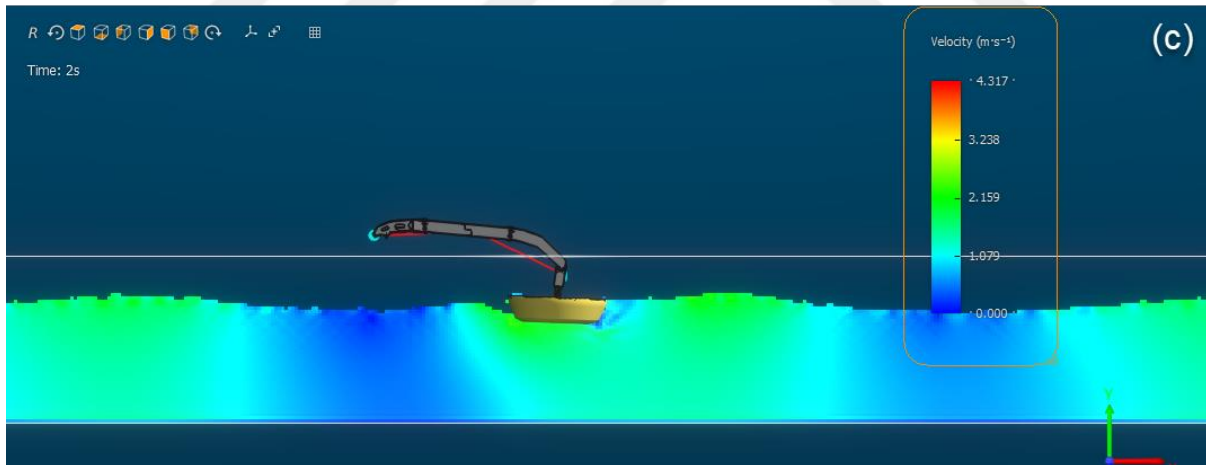
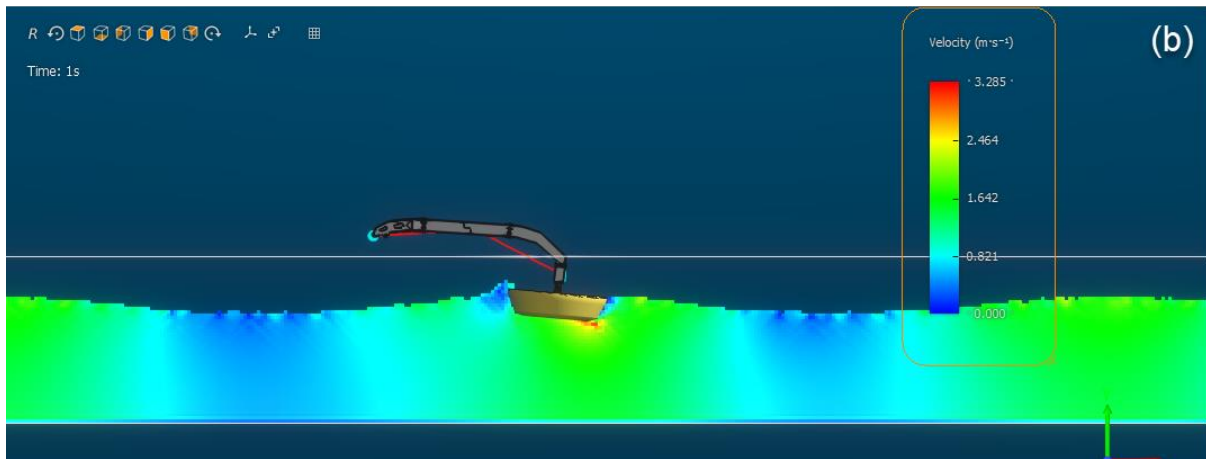
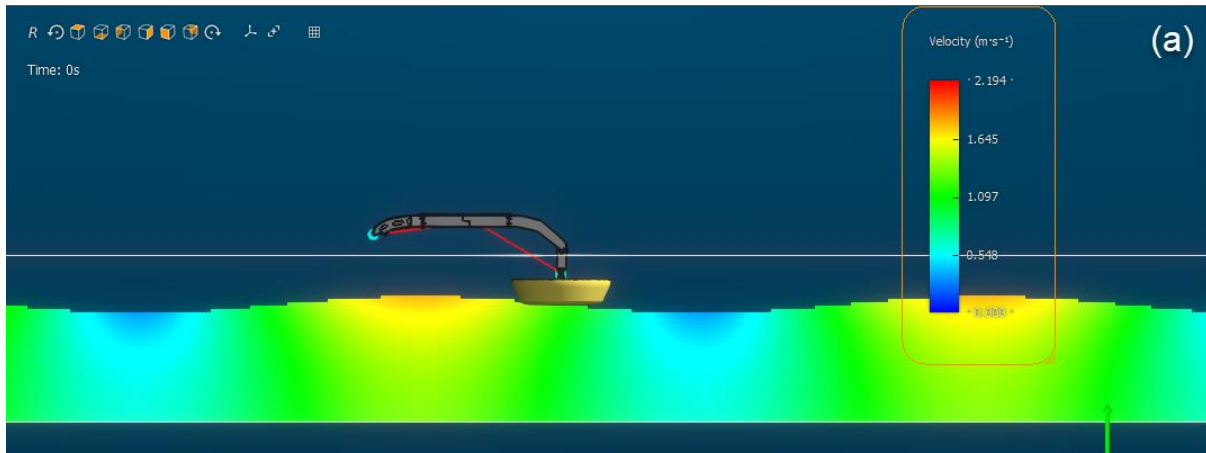
Şekil 3.32. 2. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 2. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.

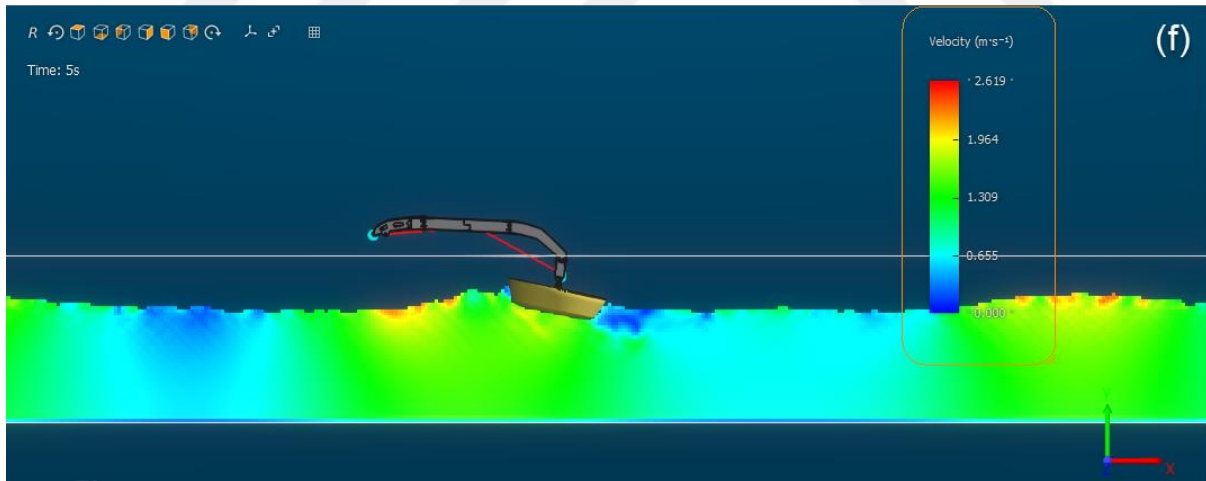
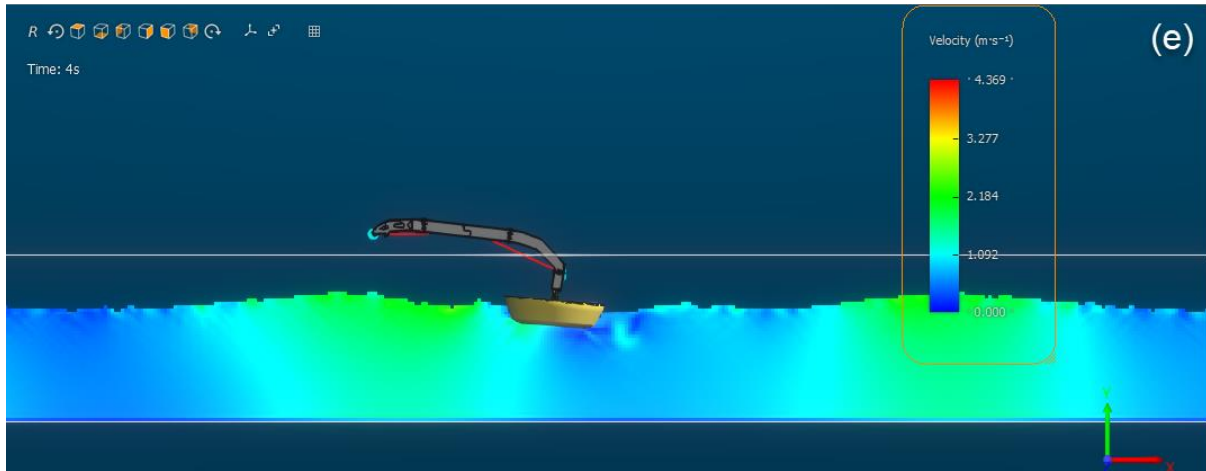
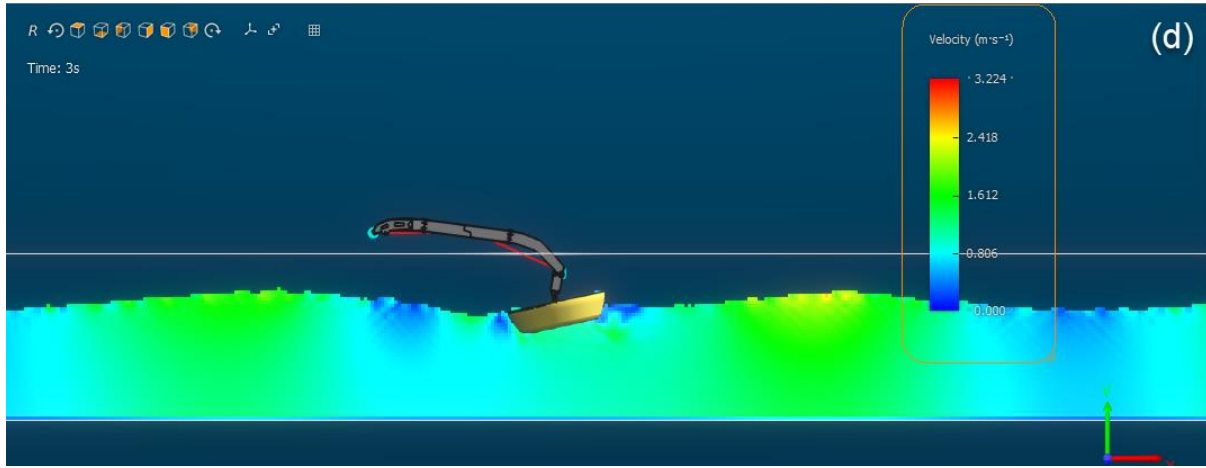
3.3.2. 3. Yüzer cismin akış analizlerine etkisi

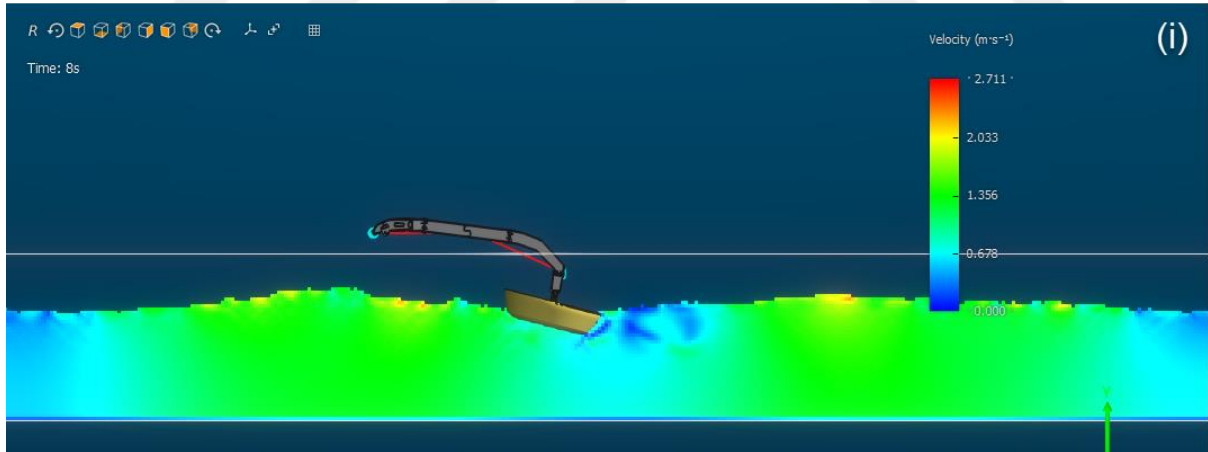
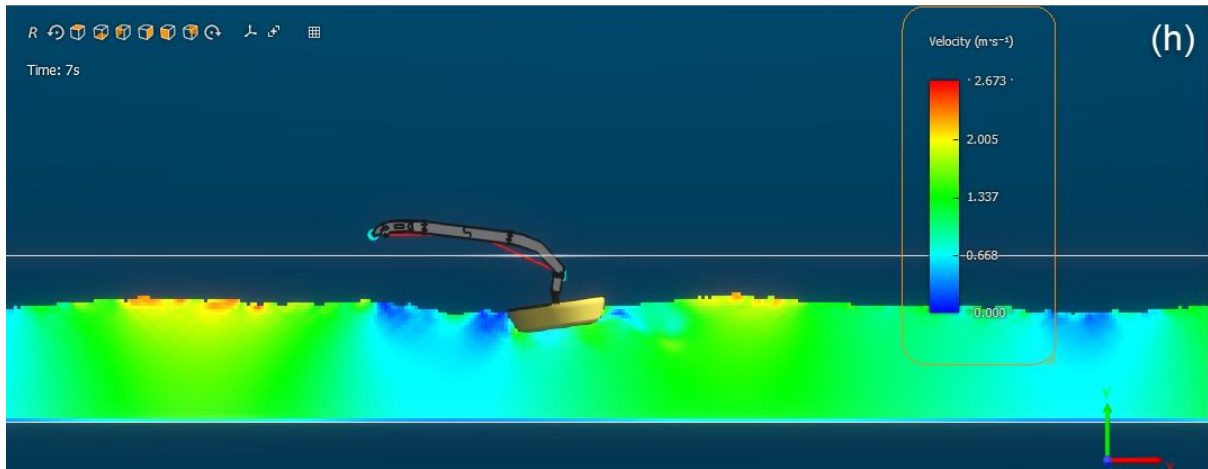
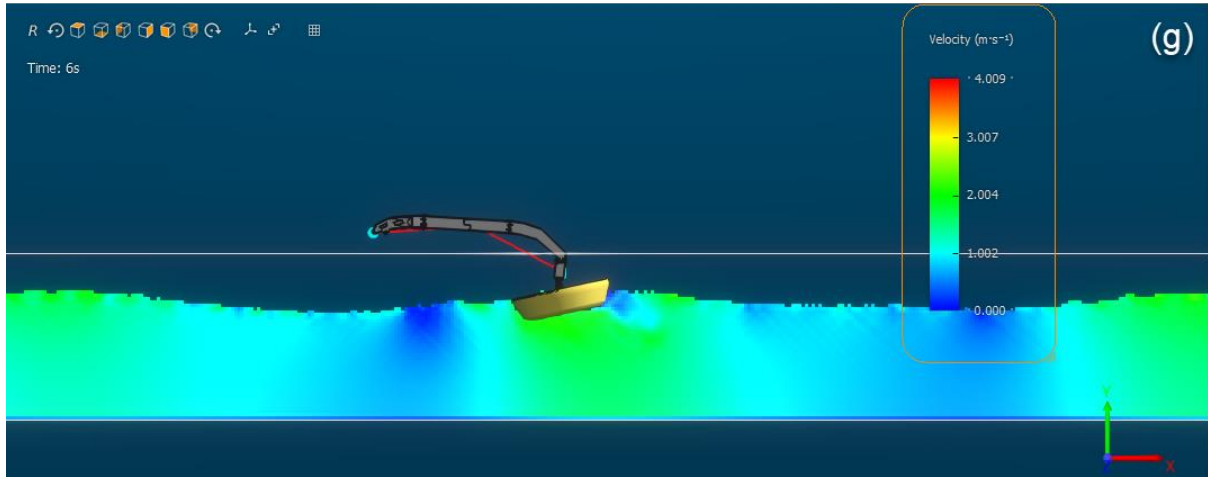
3. Yüzer cisim çiziminin detaylı ölçüleri Şekil 3.33'te belirtilmiştir. Akışkan analizlerinde 1. Yüzer cisim ile aynı dalga akış parametreleri 3. yüzer cisme de uygulanmıştır. Bu parametreler: suyun akış hızı 1 m/s, dalga frekansı 0.2 s^{-1} ve dalga yüksekliği 1 m'dir. Mekanik kol ağırlığı tüm yüzer cisimlerde aynı tanımlanmıştır. Tablo 1. ve Tablo 2.'de parametreler belirtilmiştir.

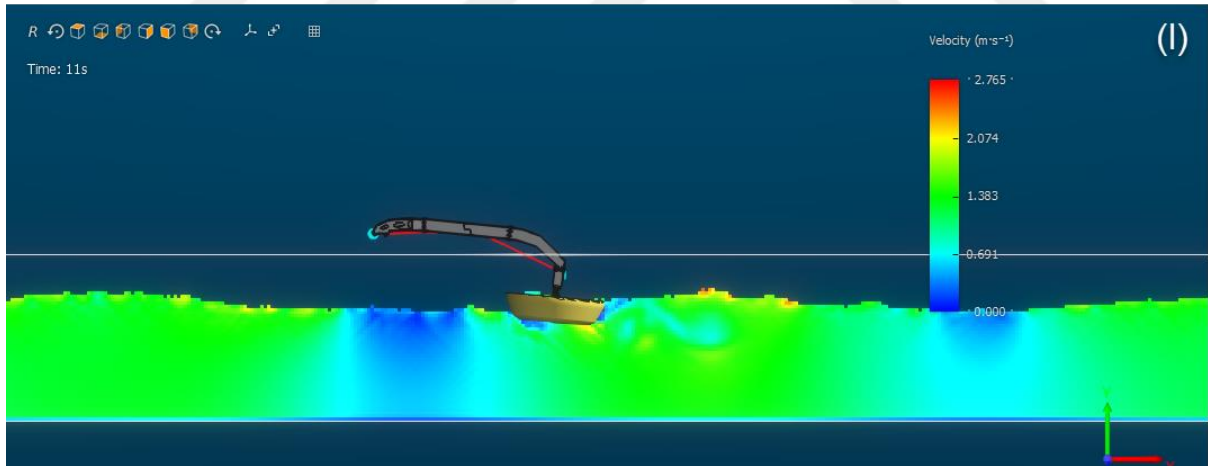
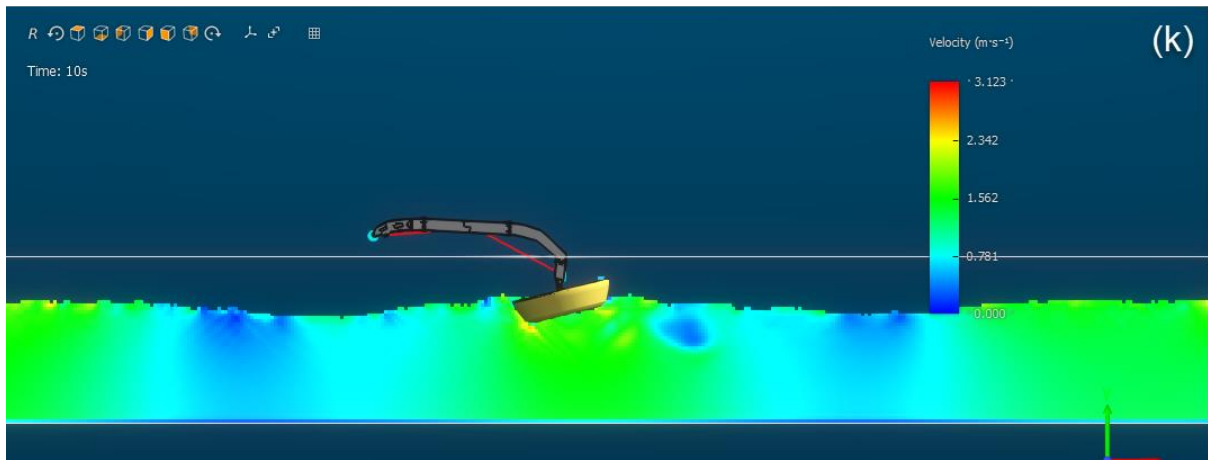
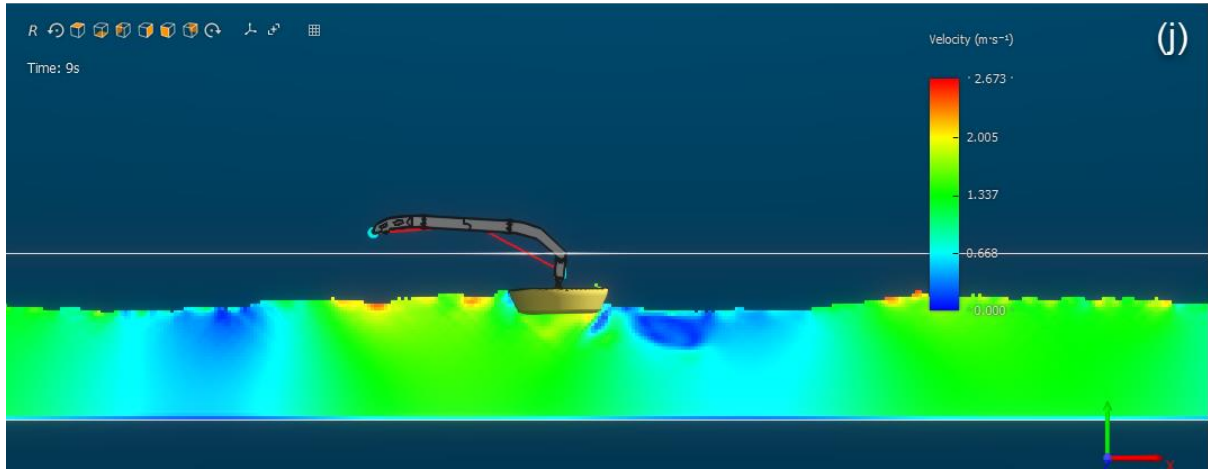


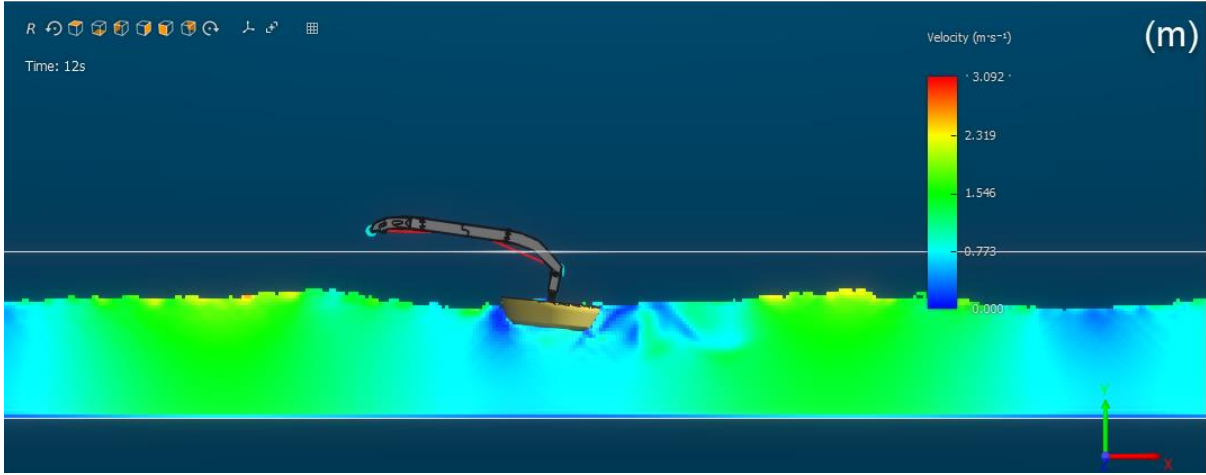
Şekil 3.33. 3. yüzer cismin ölçüleri.







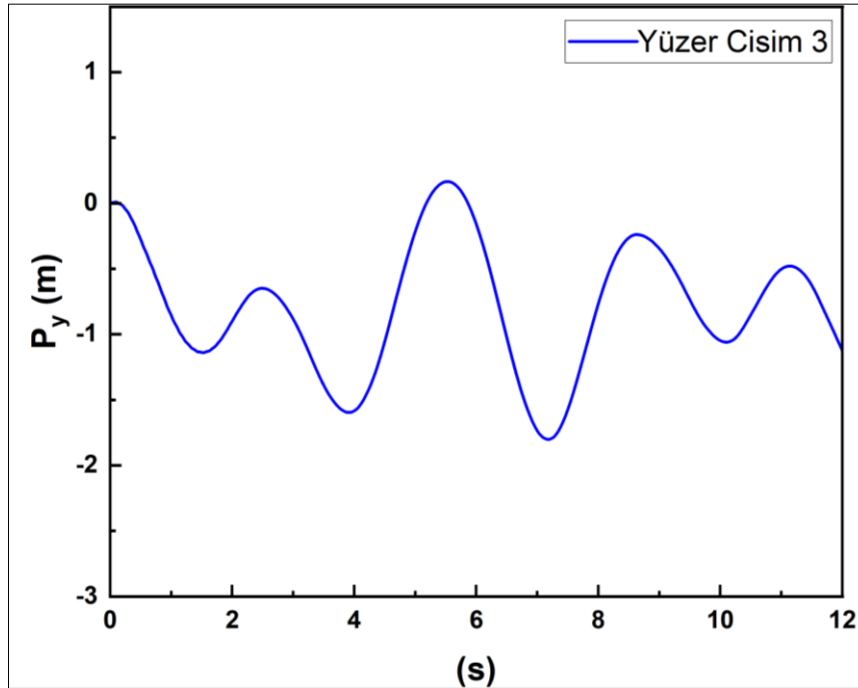




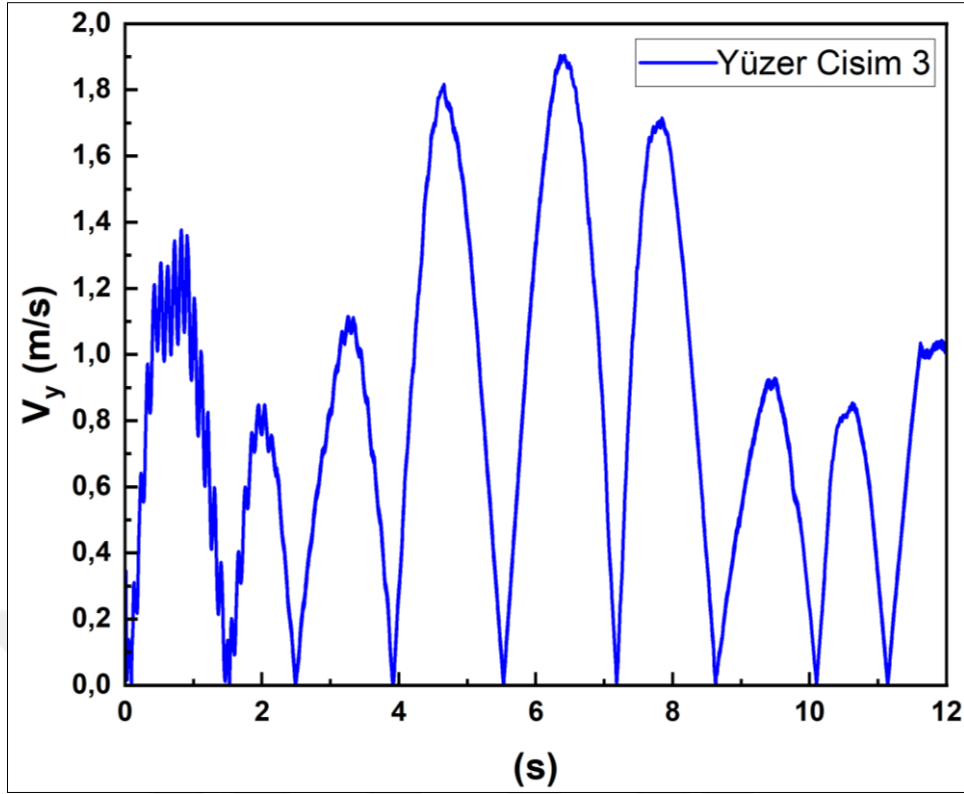
Şekil 3.34. 3. yüzer cismin montajı ile oluşturulan DEÇ sistemin akış analiz programı dalga modelinin zamana bağlı görünüşleri (a) $t=0$ s anı, b) $t=1$ s anı, c) $t=2$ sn anı, d) $t=3$ s anı, e) $t=4$ s anı, f) $t=5$ s anı, g) $t=6$ s anı, h) $t=7$ s anı, i) $t=8$ s anı, j) $t=9$ s anı, k) $t=10$ s anı, l) $t=11$ s anı, m) $t=12$ s anı.

Şekil 3.34’de belirtildiği gibi, yüzer cisim 3’ün öngörülen dalga modeline göre yüzebildiği görülmektedir. 1 m’lik dalga yüksekliğine ait yüzer cismin düşey hareketinin zamana göre değişimi Şekil 3.35’deki grafikte belirtilmiştir. Ayrıca yüzer cismin zamana bağlı hız dağılımı da Şekil 3.36.’da belirtilmiştir.

Şekil 3.35’de belirtildiği gibi dalga yüksekliği 1 m olmasına karşın yüzer cisim maksimum 2 m yüksekliğe çıktığı görülmektedir. Bu da dalga hareketinin potansiyel enerjisinin yanı sıra sahip olduğu kinetik enerji etkilerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.36’da belirtildiği gibi yüzer cismin sahip olduğu maksimum hızın mutlak değerinin 1.15 m/s civarında olduğu görülmektedir.



Şekil 3.35. Dalga enerjisi çevirici sistemdeki 3. yüzer cismin düşey yer değiştirmesinin zamana göre değişim grafiği.

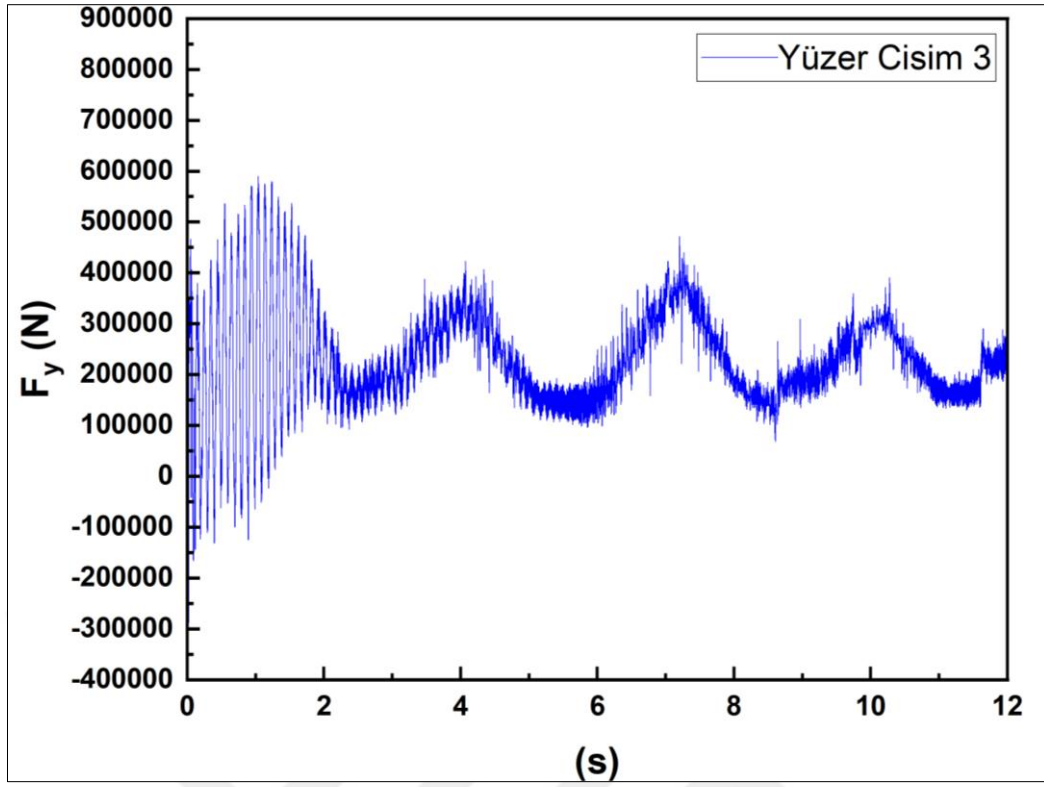


Şekil 3.36. Dalgı enerjisi çevirici sistemdeki 3. yüzer cismin düşey hızının zamana göre değışim grafiğı

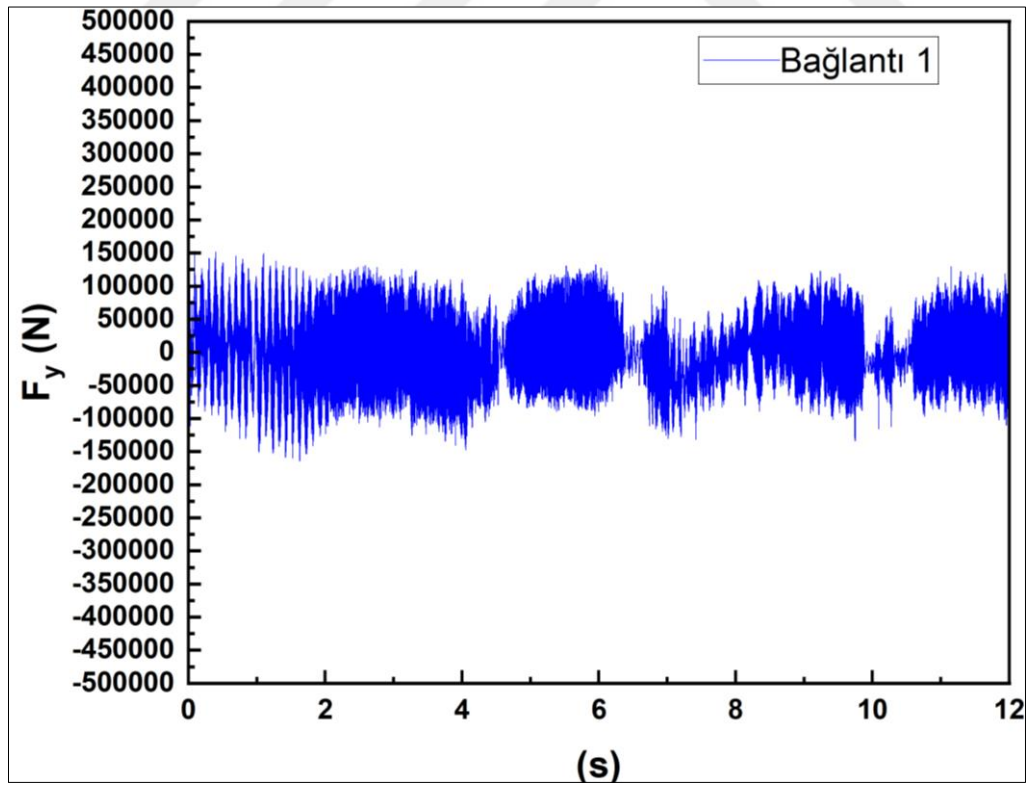
3.3.2.1. 3. Yüzer cisme Y ekseninde etkiye kuvvetler

Şekil 3.37’de görüleceğı üzere yüzer cisme düşey yönde etkiye kuvvetin ortalama 230059N olduğı görölmektedir.

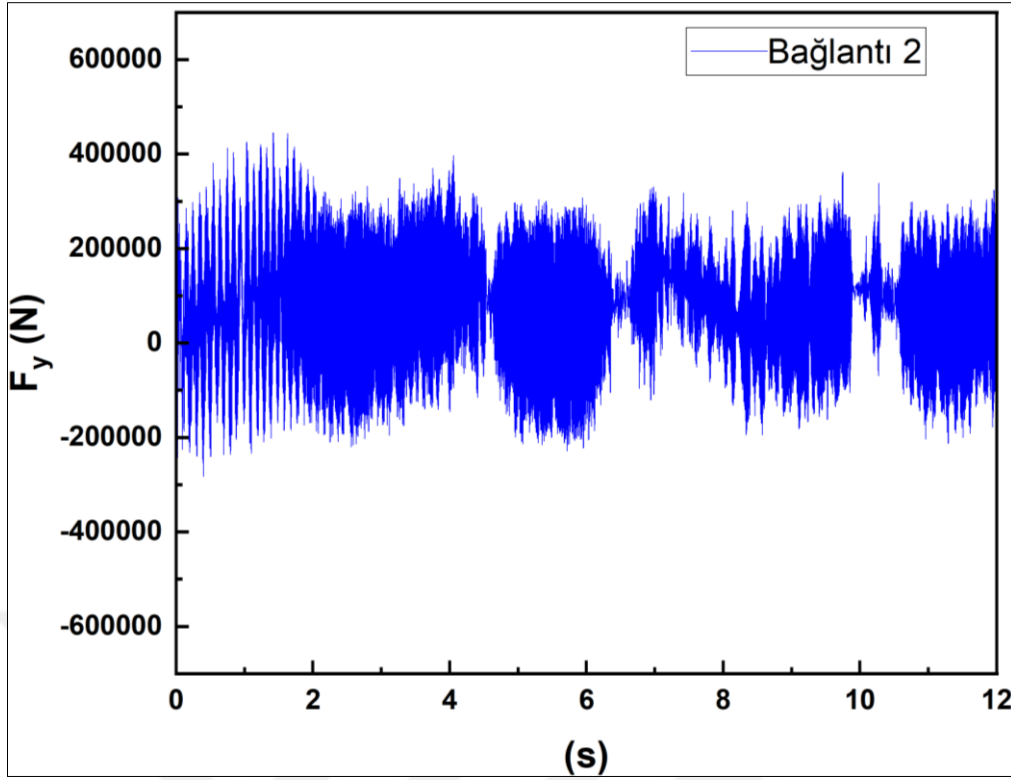
Şekil 3.38. ve Şekil 3.39.’da Bağlantı 1 ve Bağlantı 2 noktalarına y ekseninde etkiye kuvvetin 0-12 s zaman aralığında gösterimi belirtilmektedir.



Şekil 3.37. Dalga enerji çevirici sistemde, 3. yüzer cisme etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.



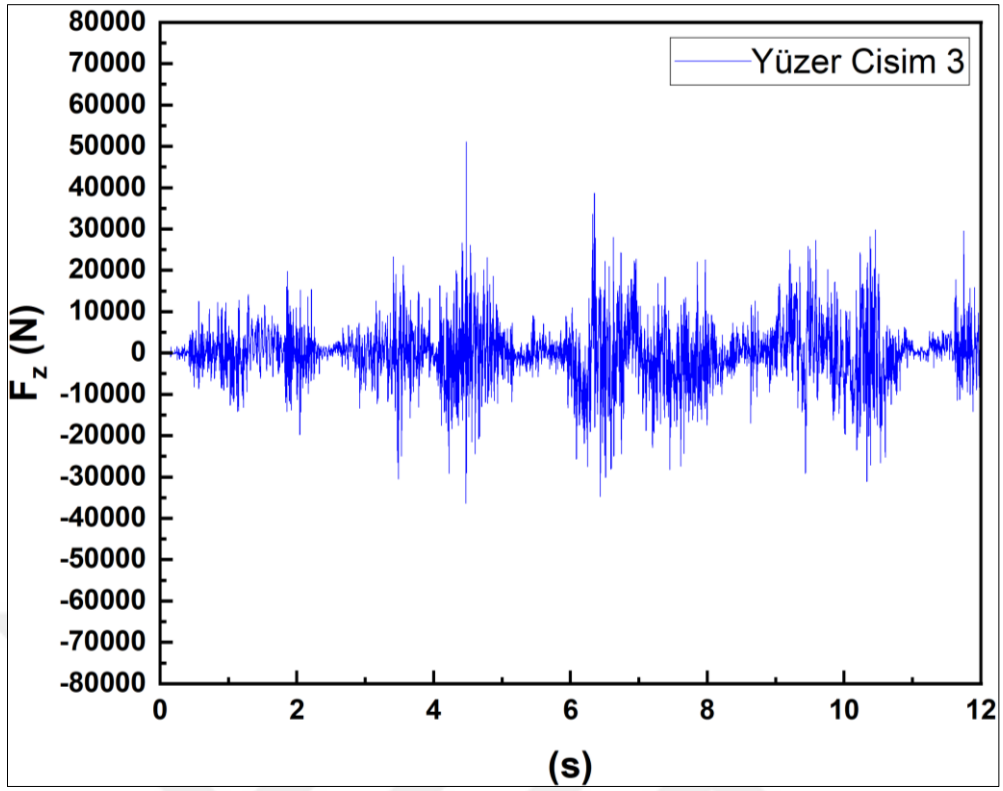
Şekil 3.38. 3. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 1. Bağlantı noktasına etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.



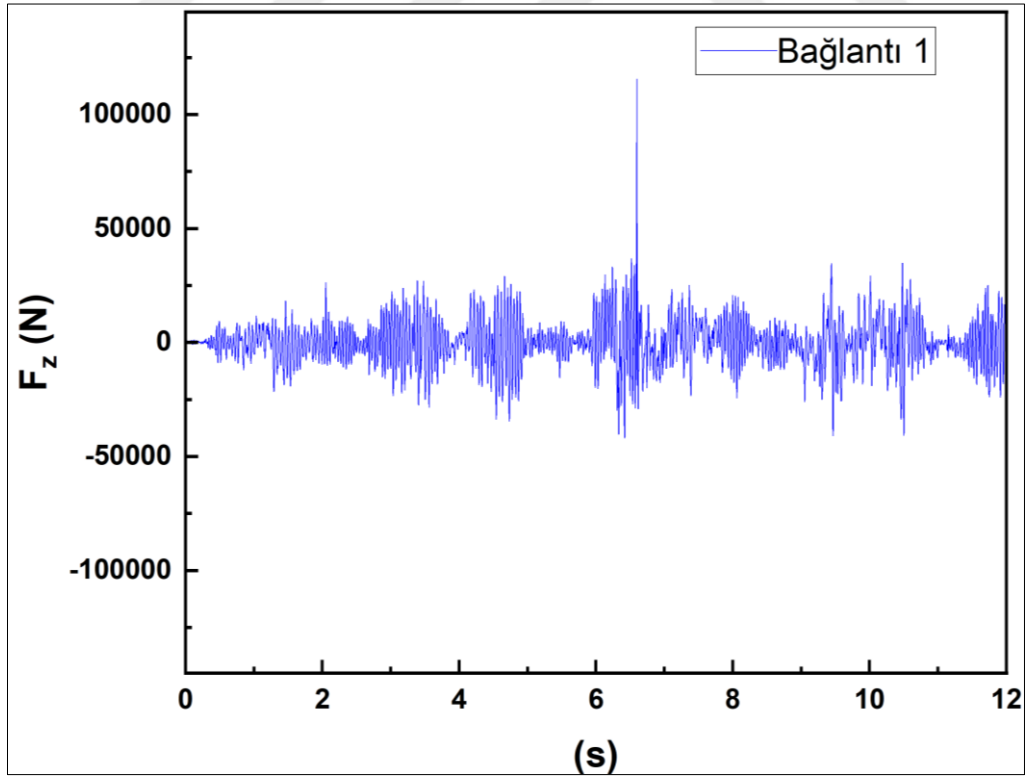
Şekil 3.39. 3. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 2. Bağlantı noktasına etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.

3.3.2.2. 3. Yüzer cisme Z ekseninde etkiyen kuvvetler

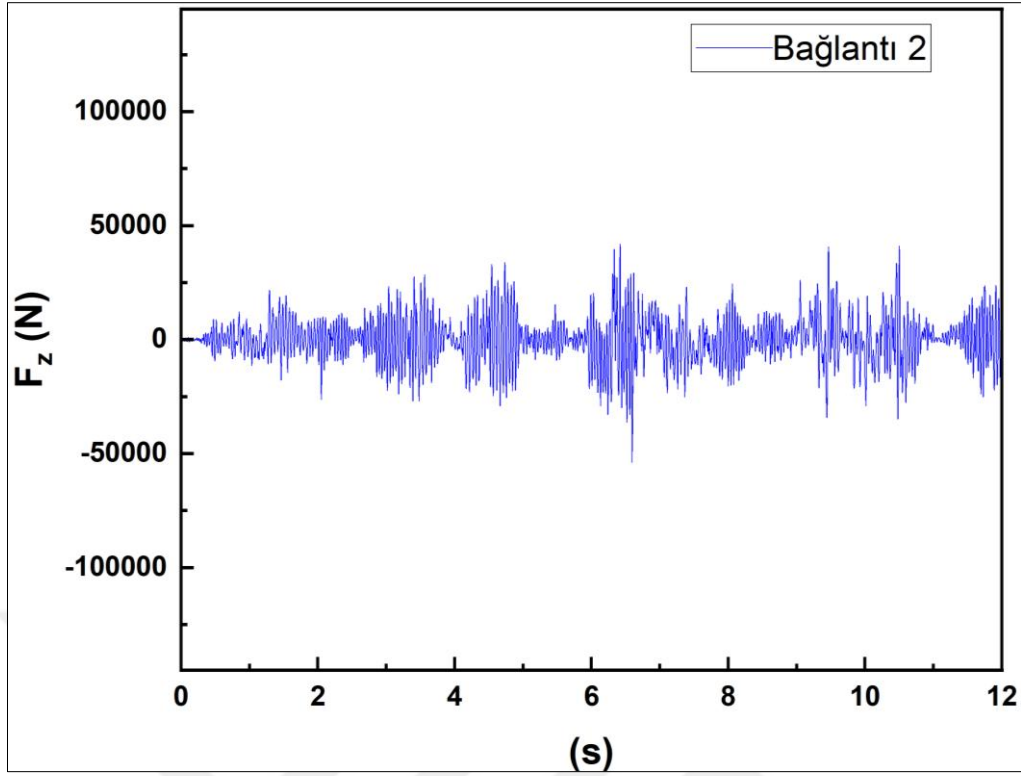
Şekil 3.40.'da yüzer cisme z ekseninde etkiyen kuvvet, Şekil 3.41.'de Bağlantı 1 'e z ekseninde etkiyen kuvvet, Şekil 3.42.'de ise Bağlantı 2'ye z ekseninde etkiyen kuvvet belirtilmektedir.



Şekil 3.40. Dalga enerji çevirici sistemde, 3. yüzer cisme z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.



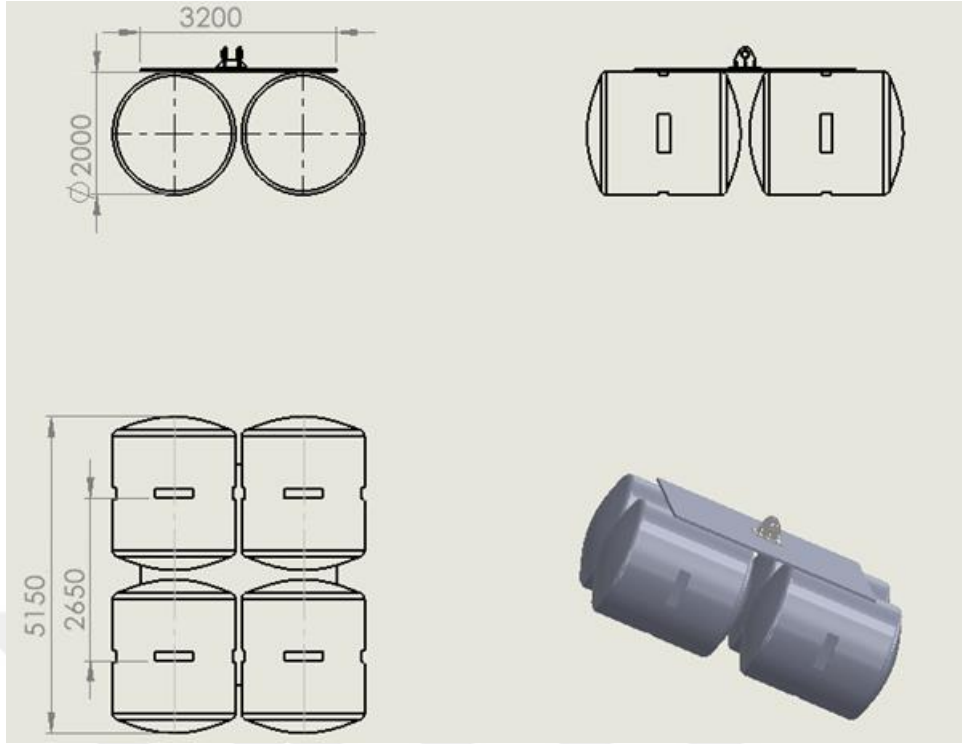
Şekil 3.41. 3. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 1. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.



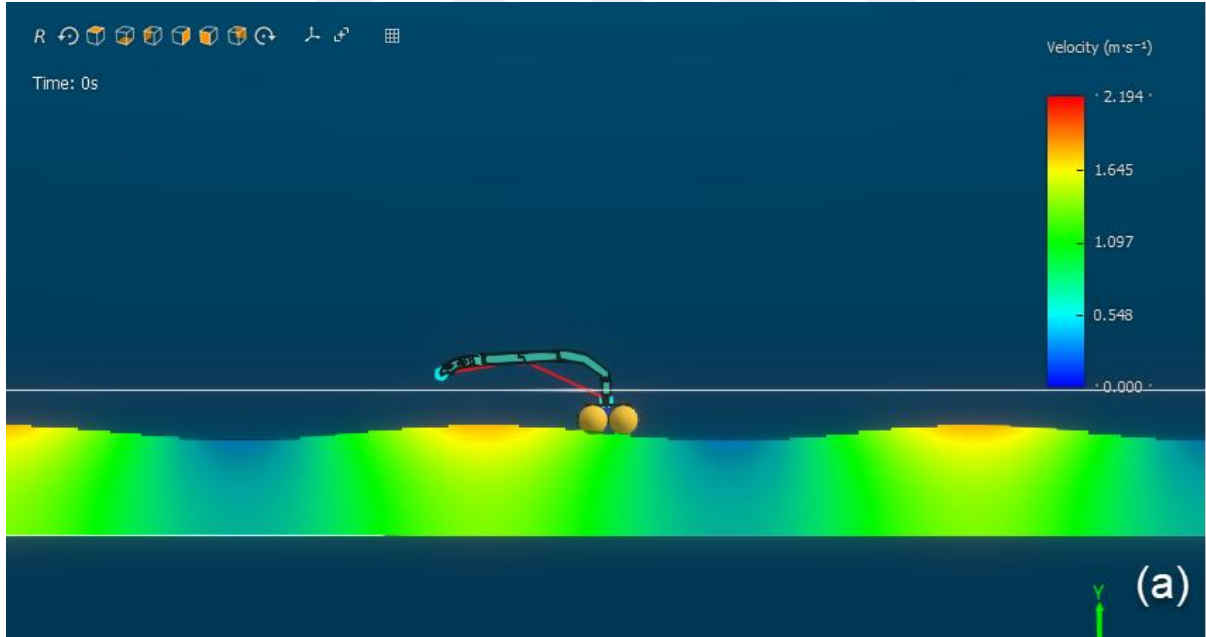
Şekil 3.42. 3. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 2. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.

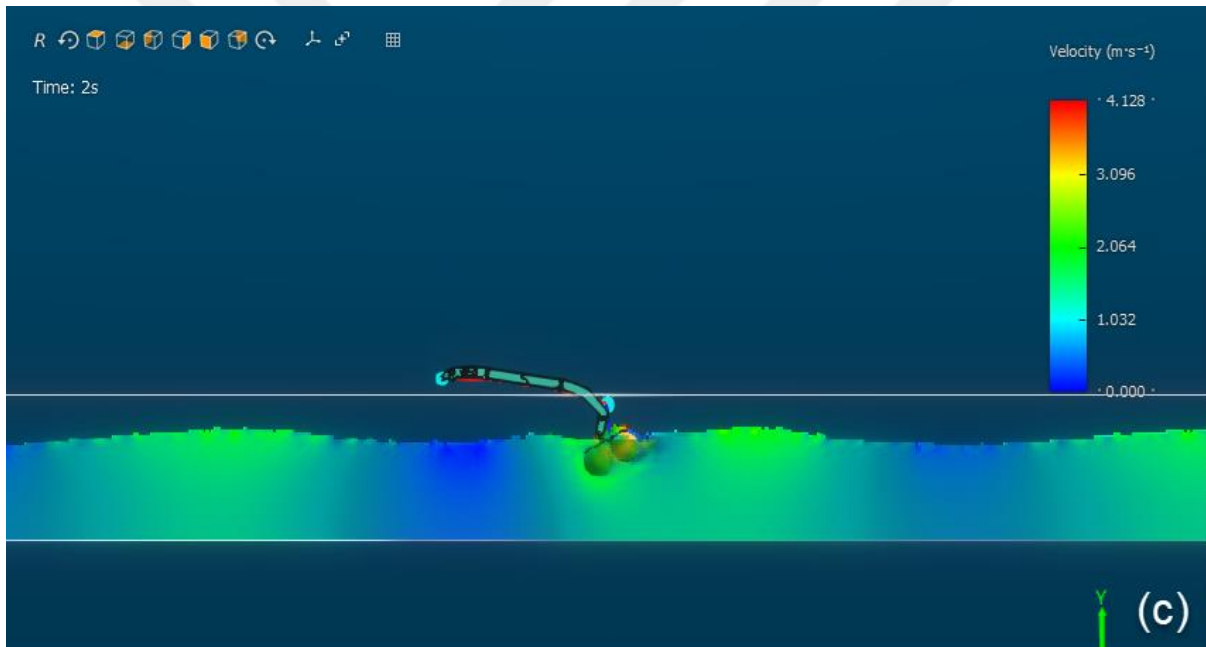
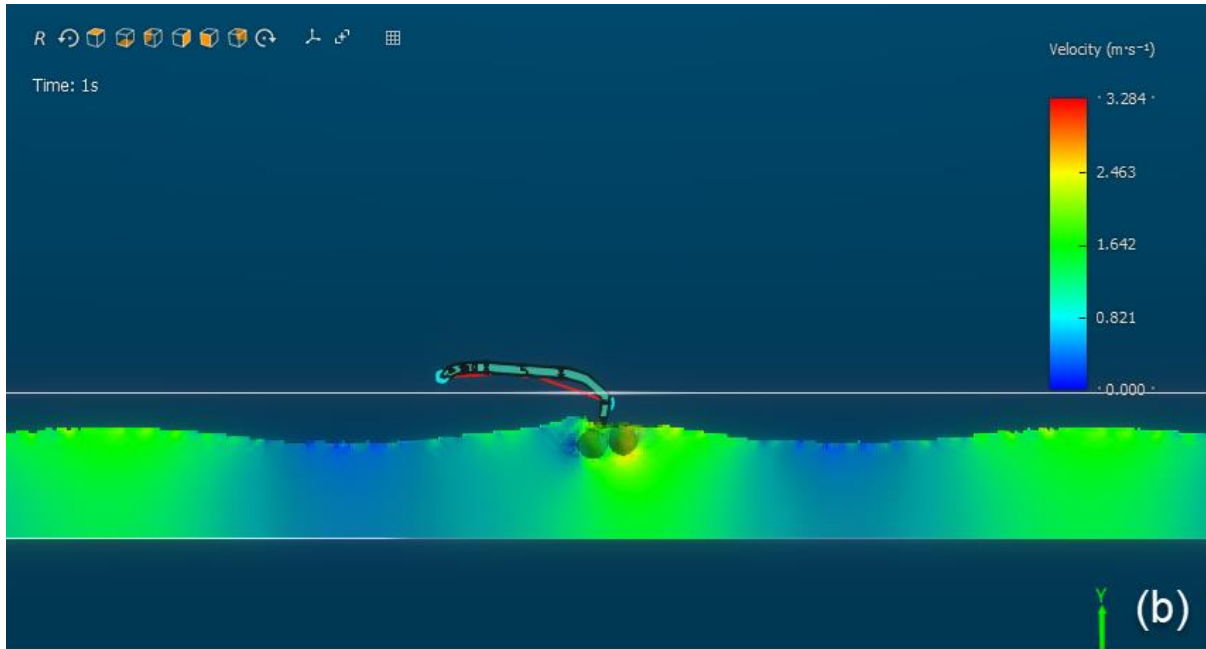
3.3.3. 4. Yüzer cismin akış analizlerine etkisi

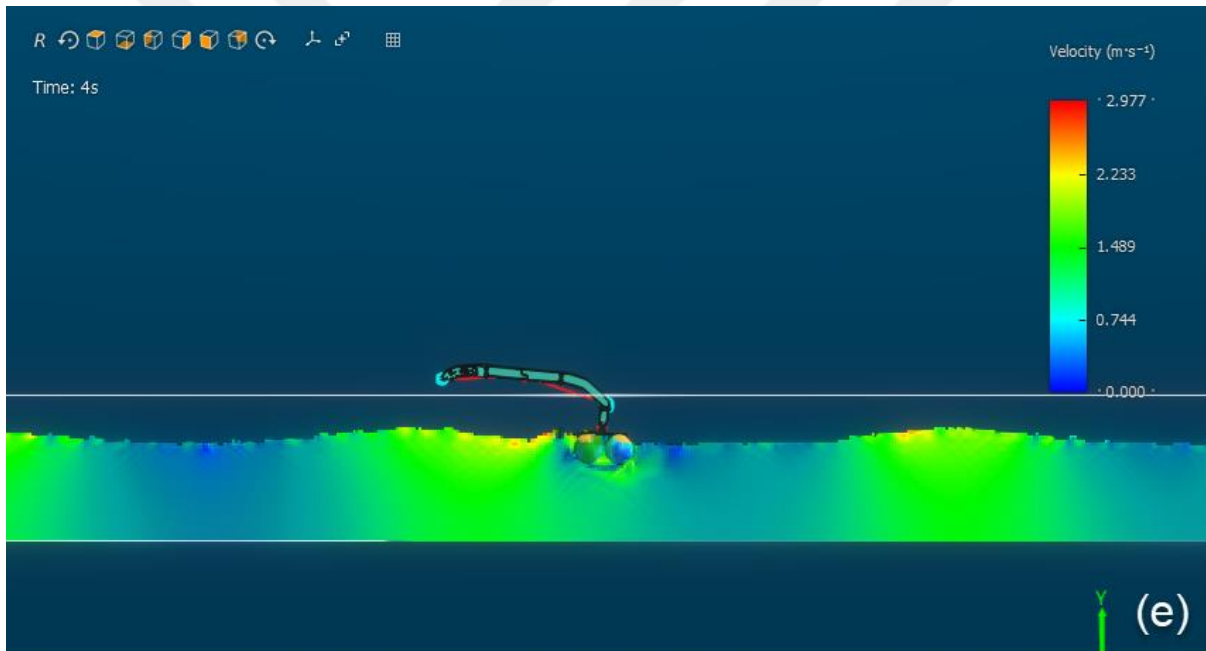
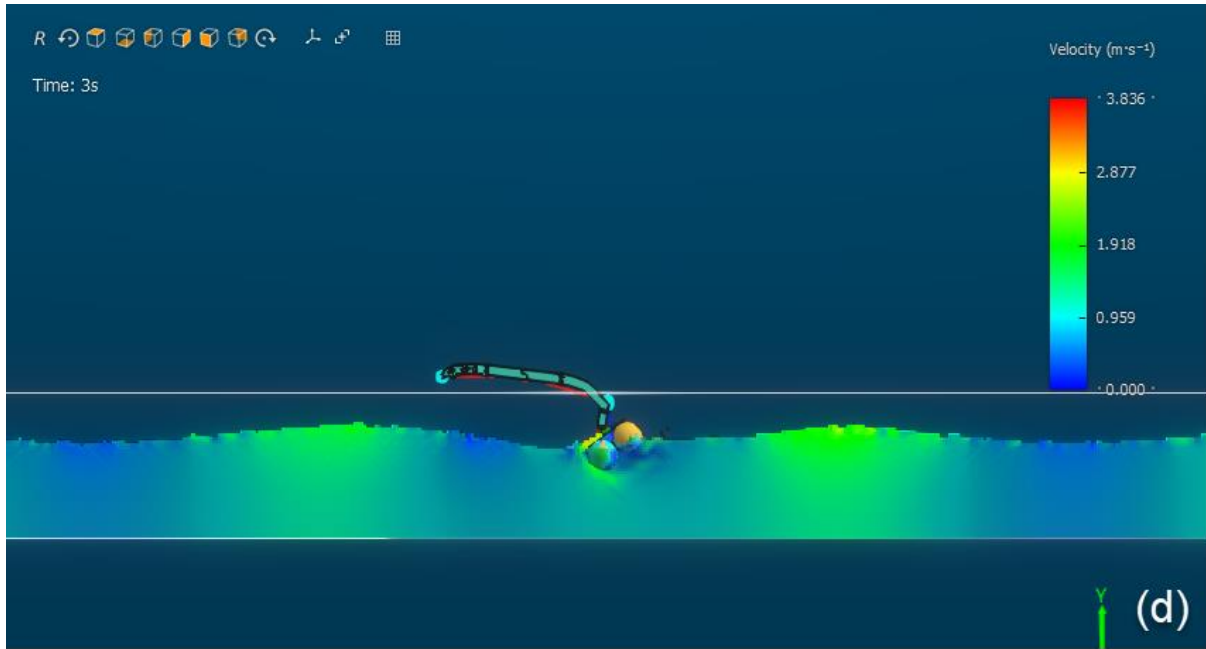
4. Yüzer cisim çiziminin detaylı ölçüleri Şekil 3.43'te belirtilmiştir. Akışkan analizlerinde 1. Yüzer cisim ile aynı dalga akış parametreleri 4. yüzer cisme de uygulanmıştır. Bu parametreler: suyun akış hızı 1 m/s, dalga frekansı 0.2 s^{-1} ve dalga yüksekliği 1 m'dir. Mekanik kol ağırlığı tüm yüzer cisimlerde aynı tanımlanmıştır. Tablo 1. ve Tablo 2.'de parametreler belirtilmiştir.

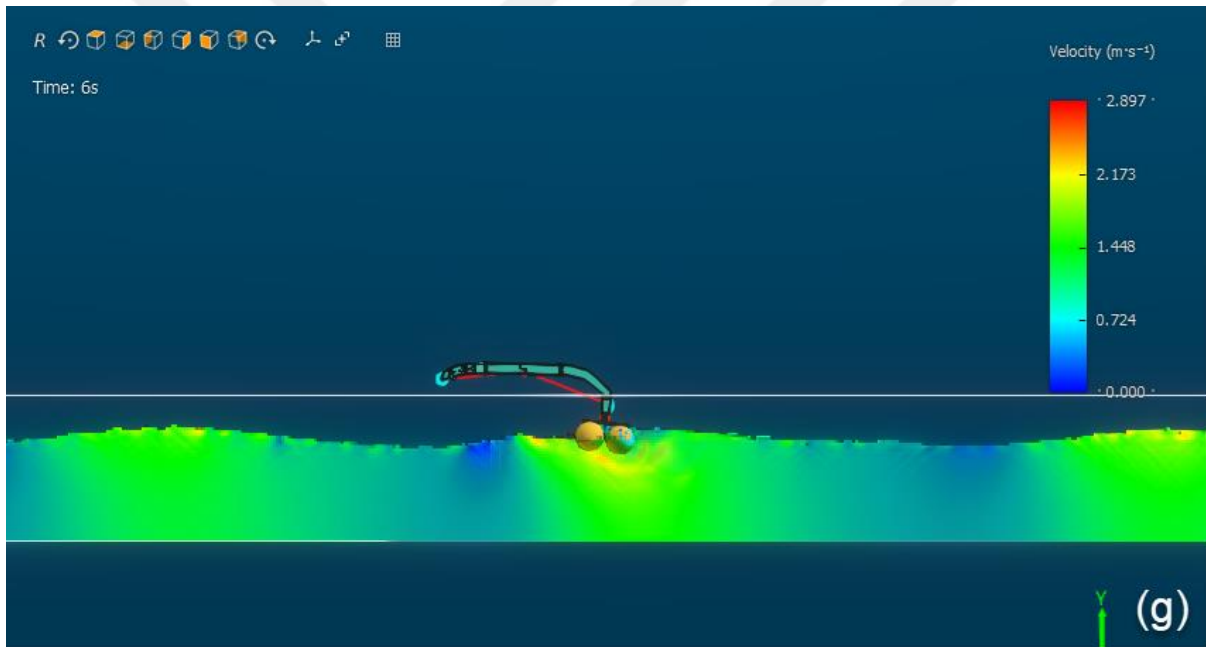
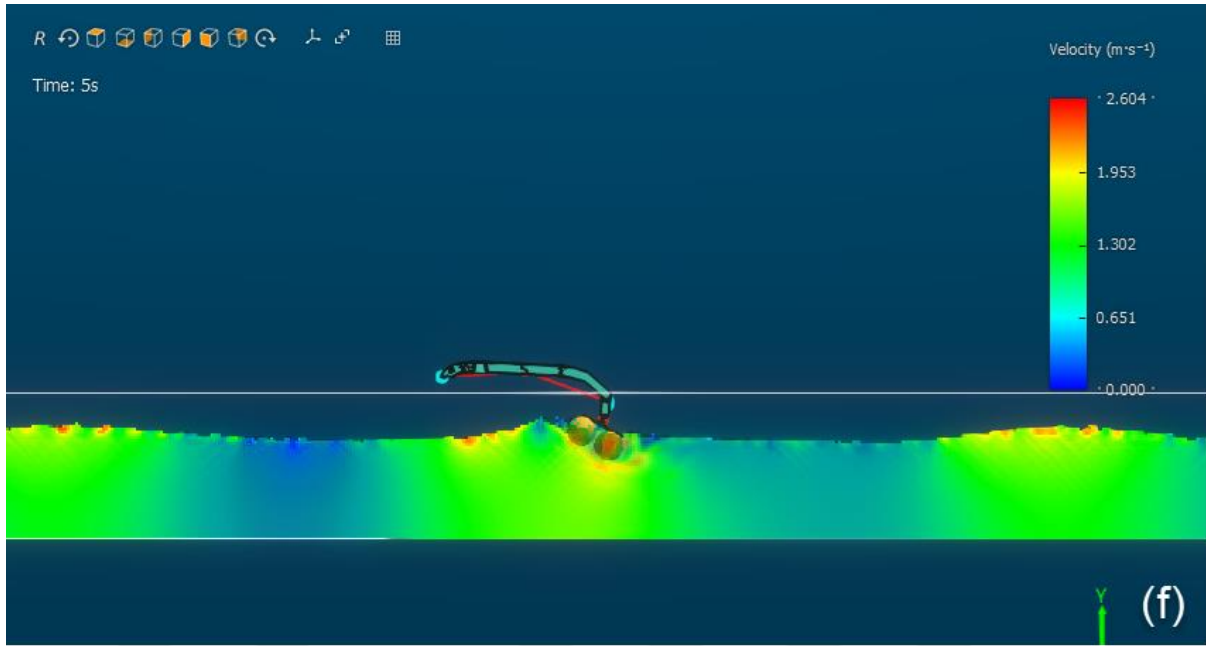


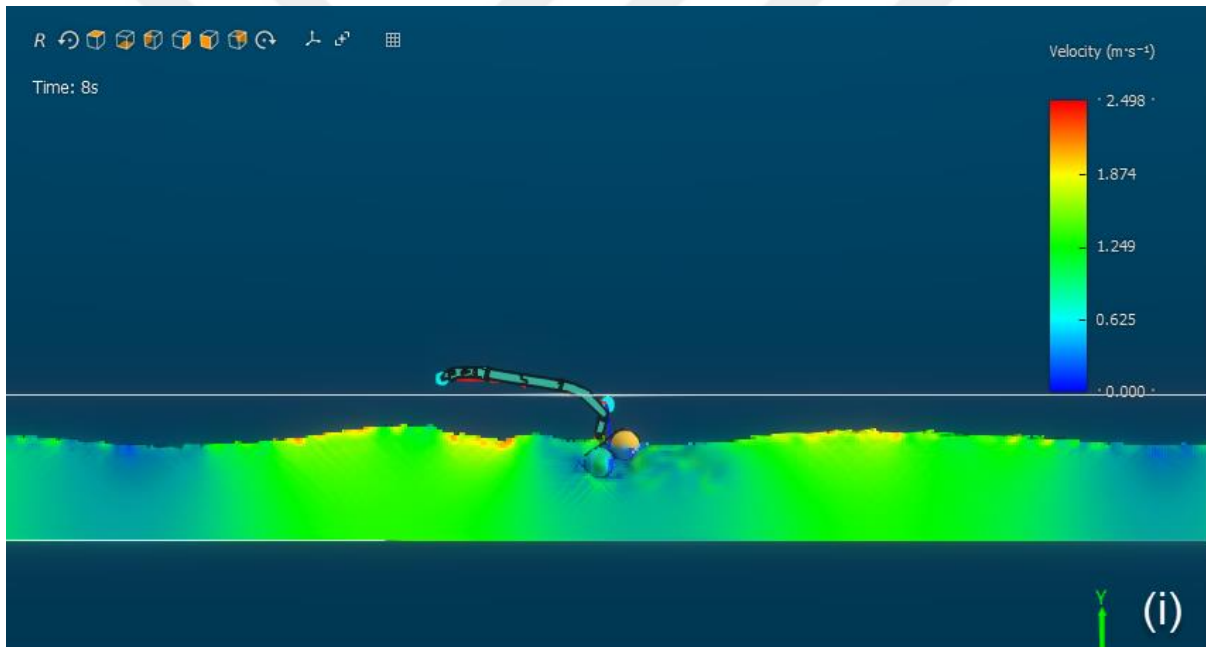
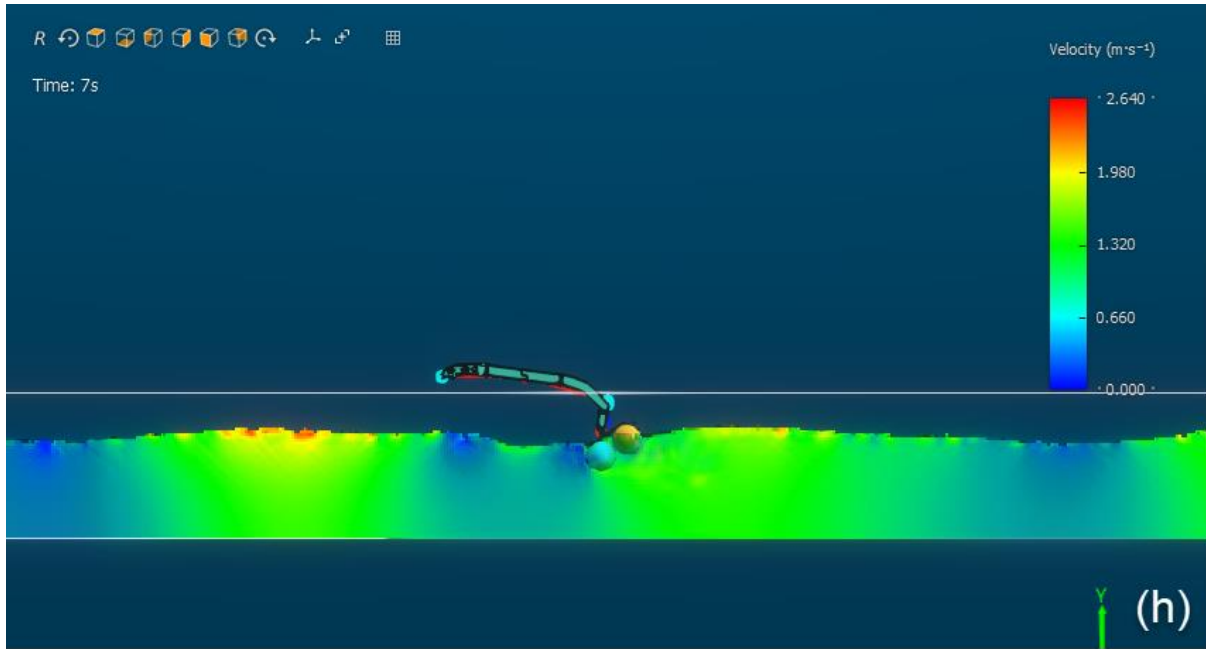
Şekil 3.43. 4. Yüzer cismin temel ölçüleri.

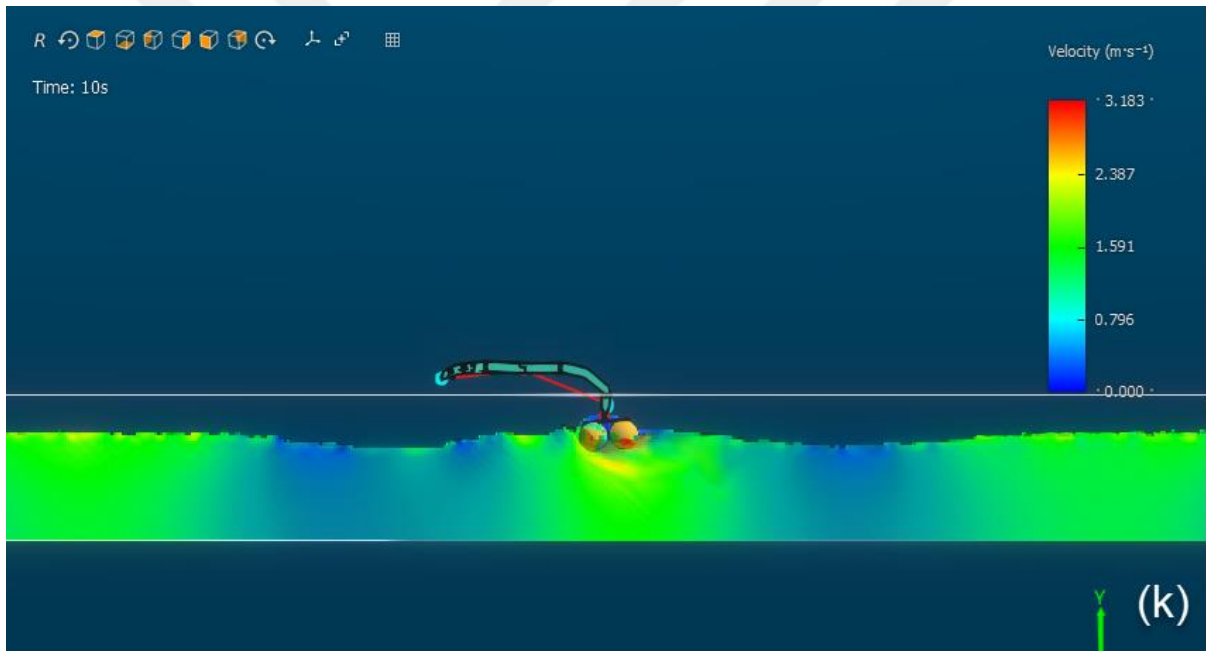
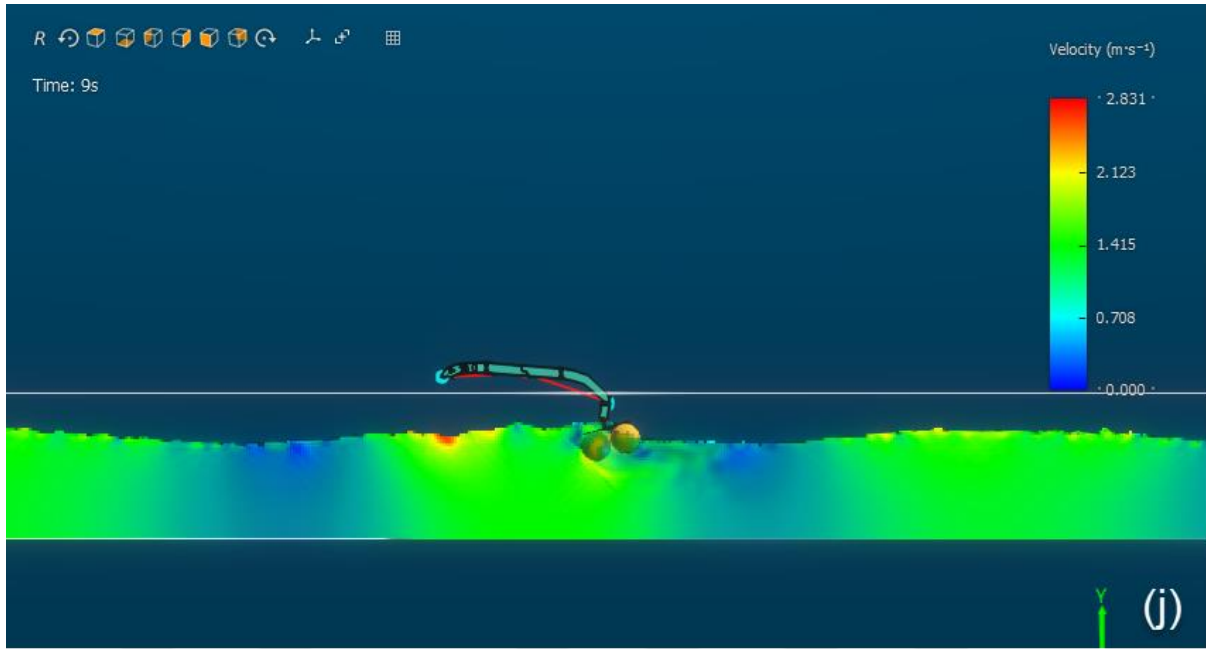


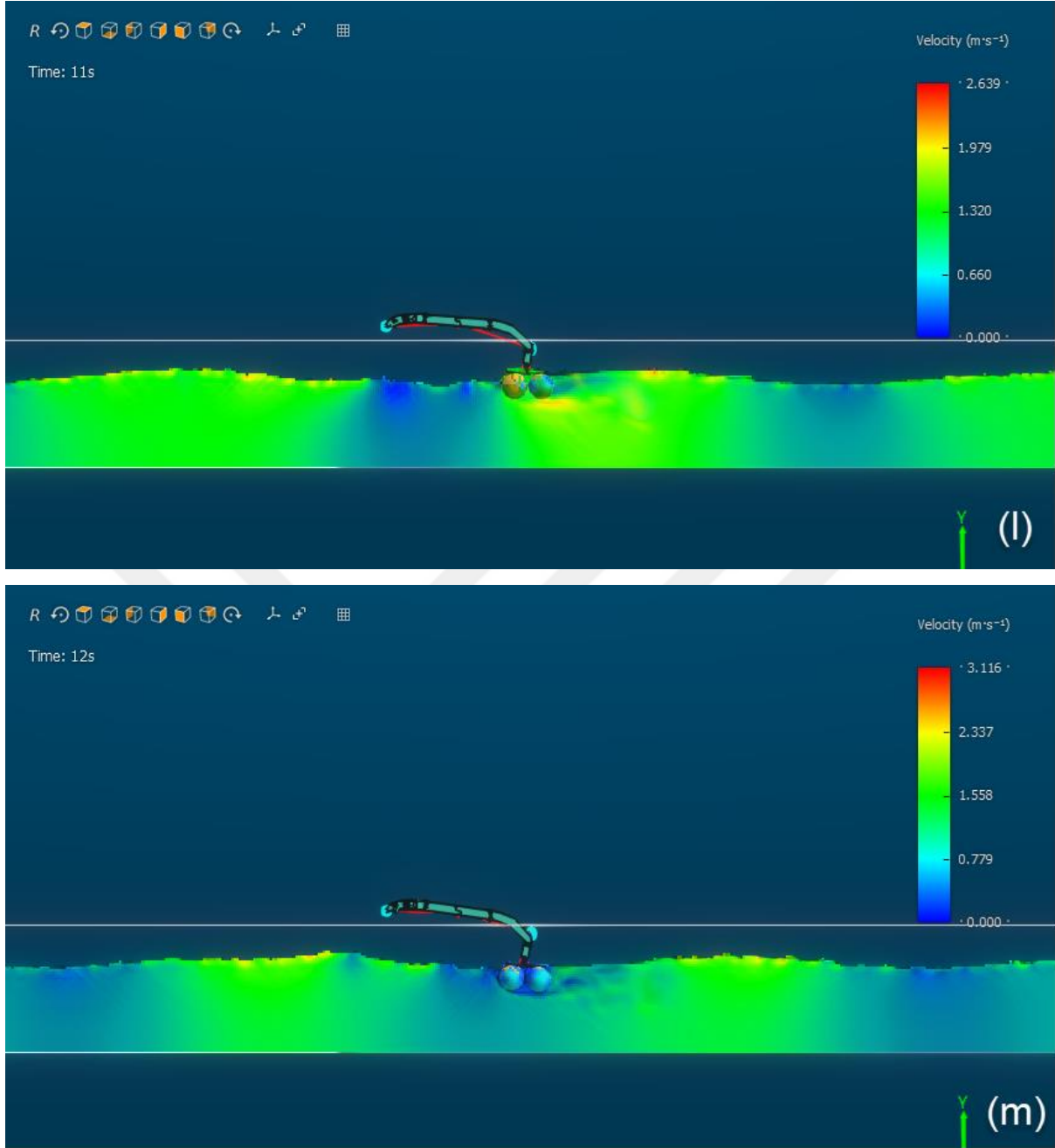








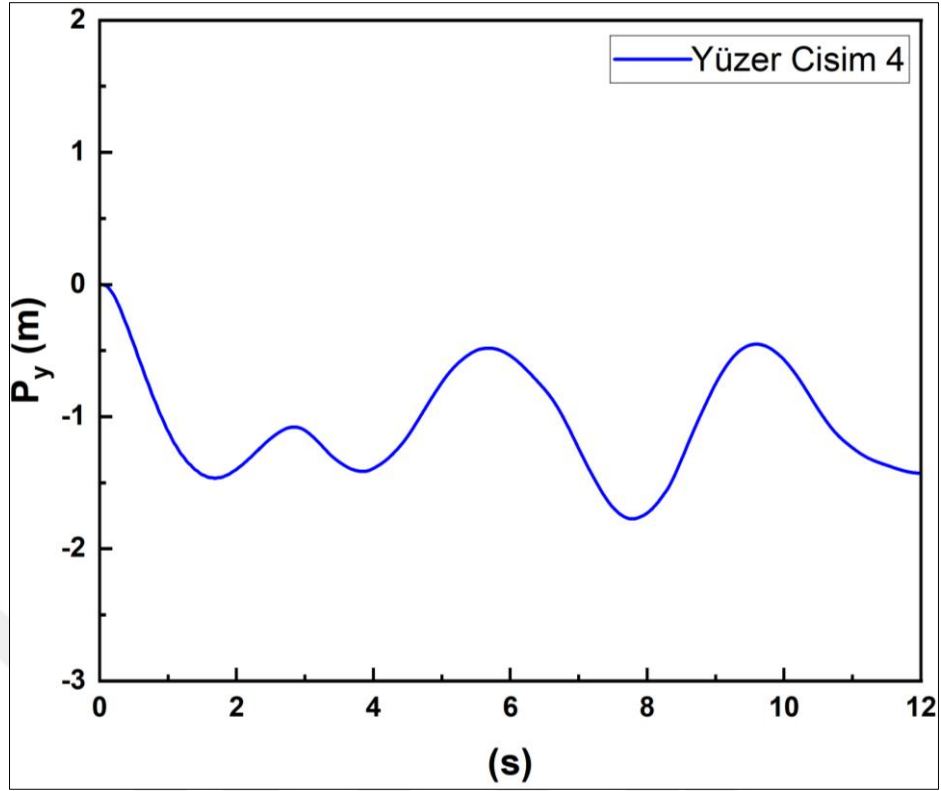




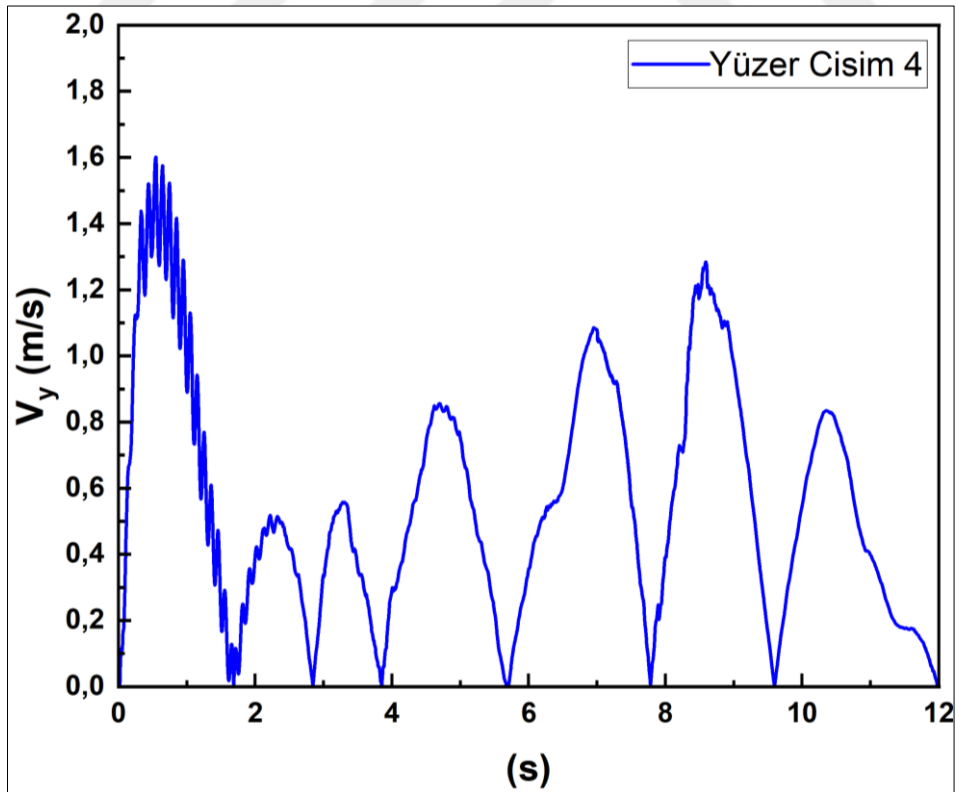
Şekil 3.44. 4. yüzer cismin montajı ile oluşturulan DEÇ sistemin akış analiz programı dalga modelinin zamana bağlı görünüşleri (a) $t=0$ s anı, b) $t=1$ s anı, c) $t=2$ sn anı, d) $t=3$ s anı, e) $t=4$ s anı, f) $t=5$ s anı, g) $t=6$ s anı, h) $t=7$ s anı, i) $t=8$ s anı, j) $t=9$ s anı, k) $t=10$ s anı, l) $t=11$ s anı, m) $t=12$ s anı.

Şekil 3.44’de belirtildiği gibi, yüzer cisim 4’ün öngörülen dalga modeline göre yüzebildiği görülmektedir. 1 m’lik dalga yüksekliğine ait yüzer cismin düşey hareketinin zamana göre değişimi Şekil 3.45’teki grafikte belirtilmiştir. Ayrıca yüzer cismin zamana bağlı hız dağılımı da Şekil 3.46.’da belirtilmiştir.

Şekil 3.44’te belirtildiği gibi dalga yüksekliği 1 m olmasına karşın yüzer cisim maksimum 2,2 m yüksekliğe çıktığı görülmektedir. Bu da dalga hareketinin potansiyel enerjisinin yanı sıra sahip olduğu kinetik enerji etkilerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.46’da belirtildiği gibi yüzer cismin sahip olduğu maksimum hızın mutlak değerinin 0.94 m/s civarında olduğu görülmektedir.



Şekil 3.45. Dalga enerji dönüştürücü sistemindeki 4. yüzer cismin düşey yer değiştirmesinin zamana göre değişim grafiği

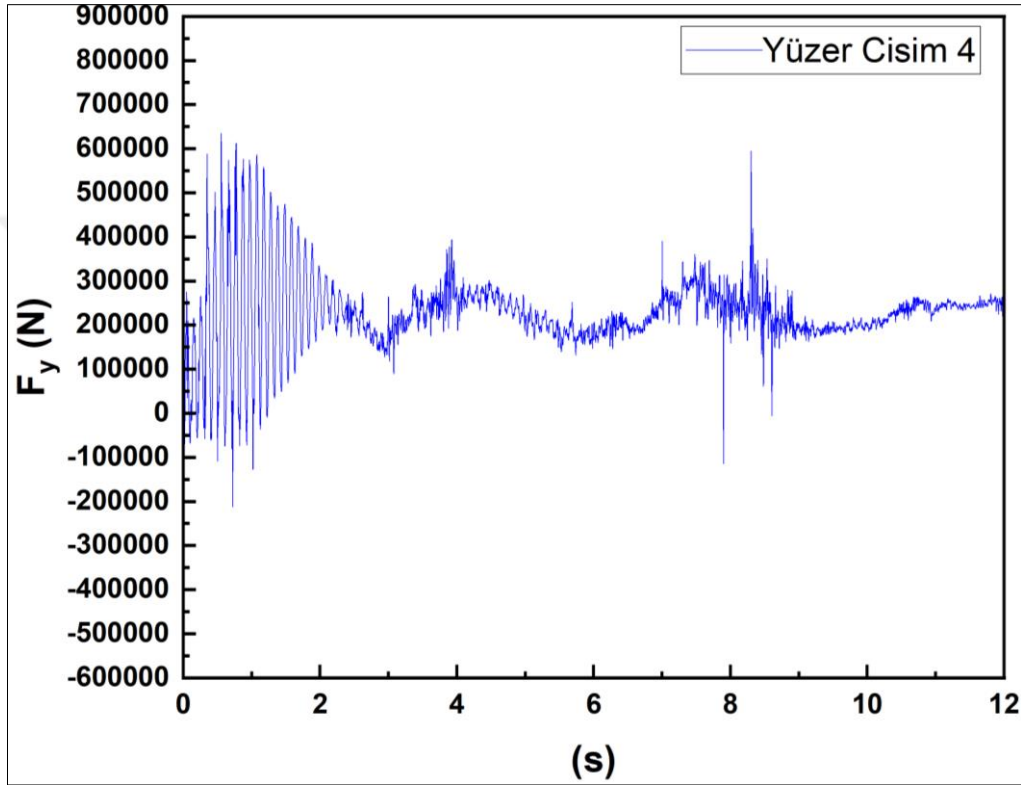


Şekil 3.46. Dalga enerji dönüştürücü sistemindeki 4. yüzer cismin düşey hızının zamana göre değişim grafiği

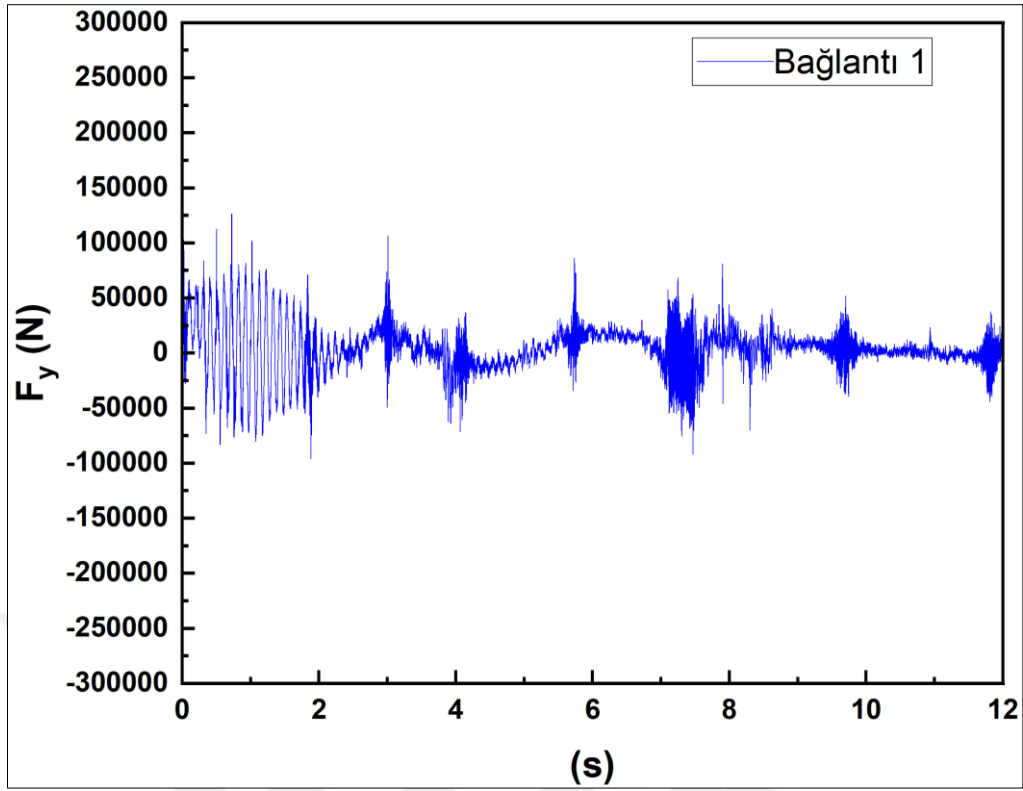
3.3.3.1. 4. Yüzer cisme Y ekseninde etkiyen kuvvetler

Şekil 3.47’de görüleceği üzere yüzer cisme düşey yönde etkiye kuvvetin ortalama 227990N olduğu görülmektedir. Hızın mutlak değerinin minimum 0 ile maksimum 0.94 m/s aralığında değiştiği düşünüldüğünde anlık gücün de 0 ile 214,310 kW arasında değiştiği söylenebilir.

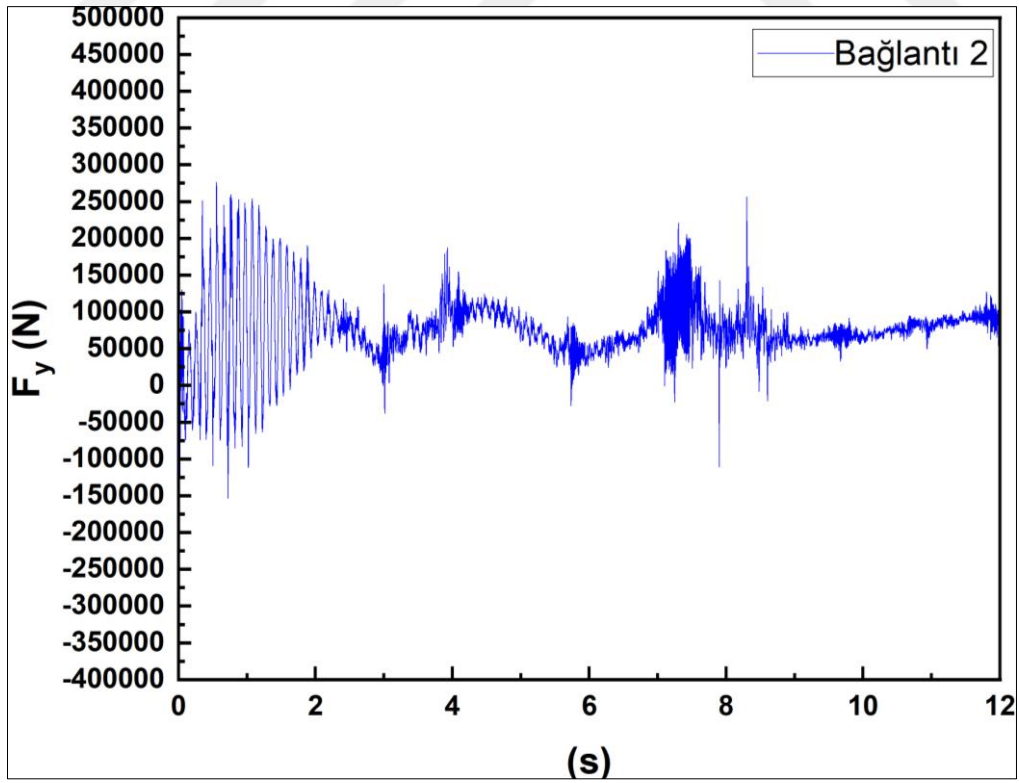
Şekil 3.48. ve Şekil 3.49.’da Bağlantı 1 ve Bağlantı 2 noktalarına y ekseninde etkiye kuvvetin 0-12 s zaman aralığında gösterimi belirtilmektedir.



Şekil 3.47. Dalga enerji çevirici sistemde, 4. yüzer cisme etkiye düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.



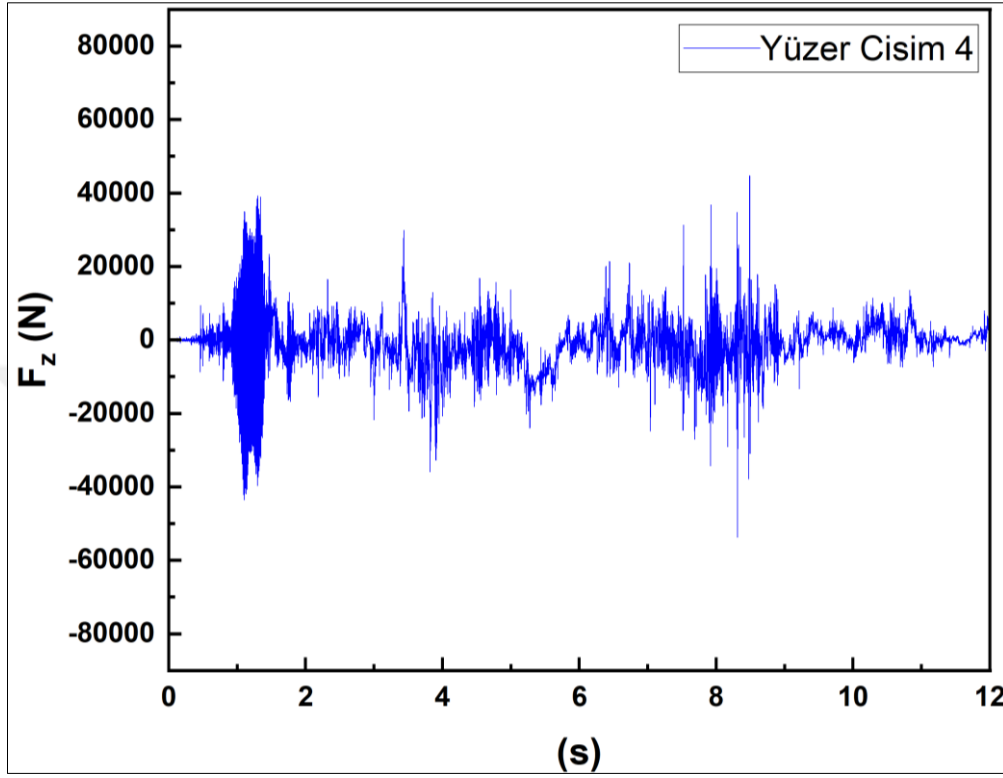
Şekil 3.48. 4. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 1. Bağlantı noktasına etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.



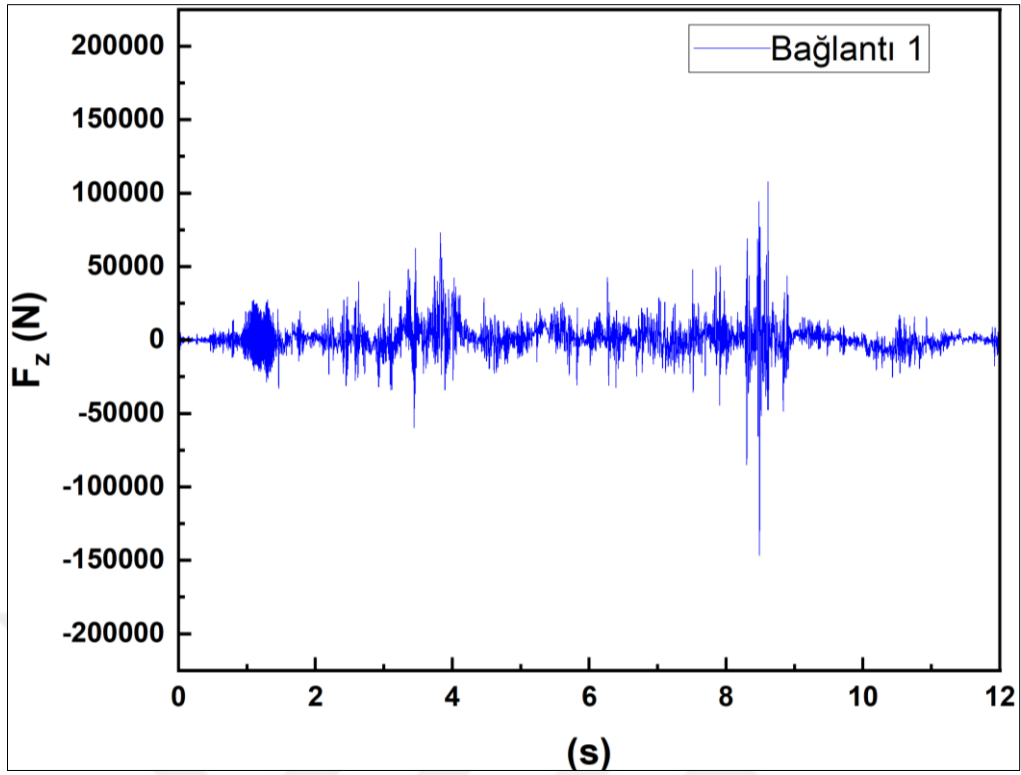
Şekil 3.49. 4. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 2. Bağlantı noktasına etkiyen düşey kuvvetin zamana göre değişim grafiği.

3.3.3.2. 4. Yüzer cisme Z ekseninde etkiyen kuvvetler

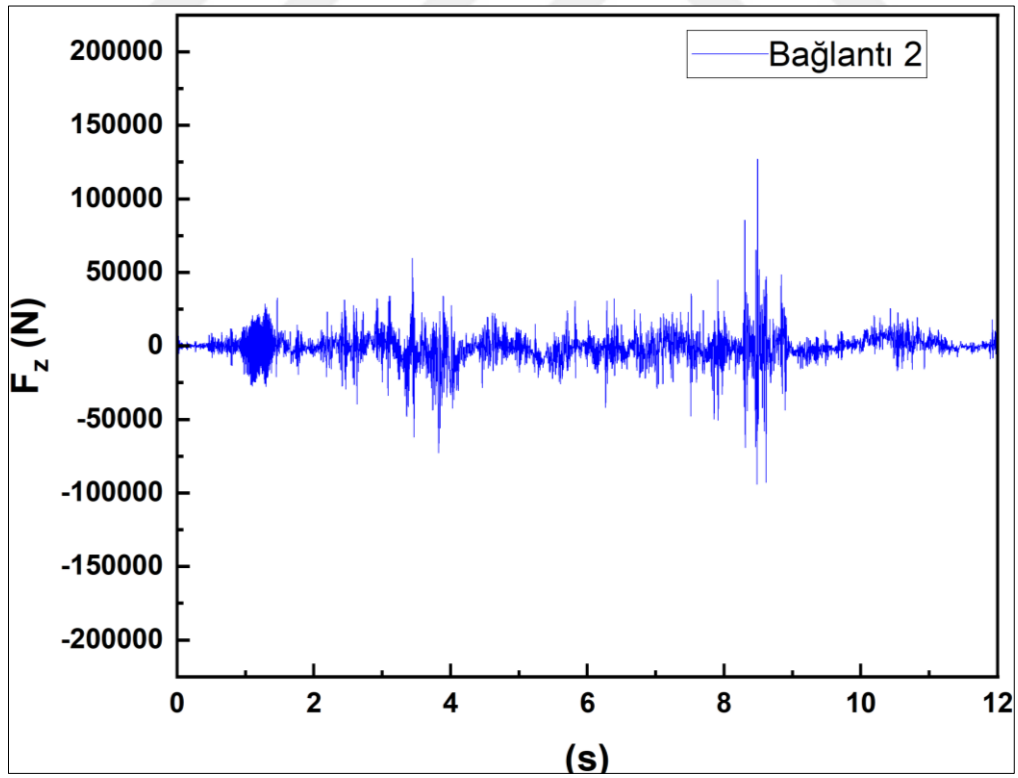
Şekil 3.50.'de yüzer cisme z ekseninde etkiyen kuvvet, Şekil 3.51.'de Bağlantı 1 'e z ekseninde etkiyen kuvvet, Şekil 3.52.'de ise Bağlantı 2'ye z ekseninde etkiyen kuvvet belirtilmektedir.



Şekil 3.50. Dalga enerji çevirici sistemde, 4. yüzer cisme z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.



Şekil 3.51. 4. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 1. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.



Şekil 3.52. 4. yüzer cisim ile analizi yapılan dalga enerji çevirici sistemde, 2. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana göre değişim grafiği.

3.4. Yapısal Analizler

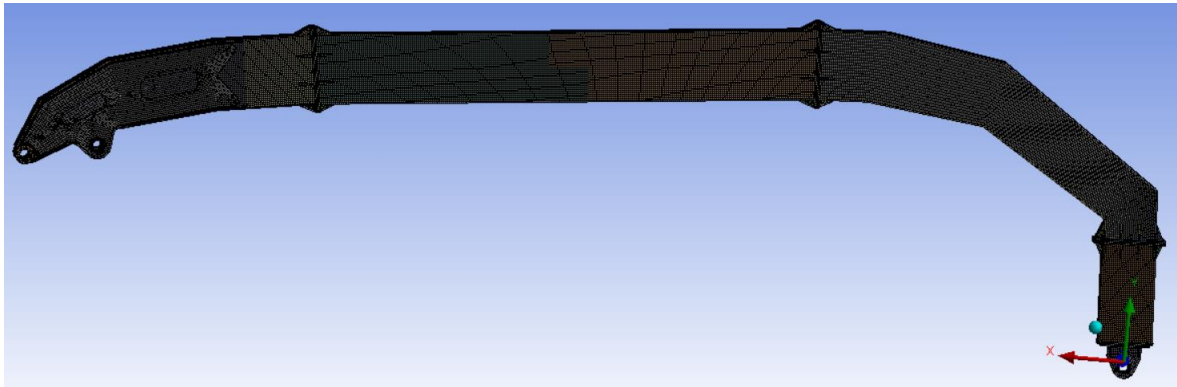
Yapısal analiz yöntemi ile sonuçlar en optimum düzeye getirilmiştir. Yapının kapsamlı olarak anlaşılması için sonlu elemanlar yöntemi kullanan bir yazılım kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yönteminde yaklaşık çözümler elde edilmektedir. Sistemin zayıflıkları, belirli yükler ve koşullar altında bilgisayar ortamında test edilerek tespit edilmektedir. Yapının simülasyonunun oluşturulması için, yapıda binlerce elemandan oluşan bir ağ yapısı belirlenmektedir. Her bir eleman için hesaplamalar yapılarak sonuca ulaşılabilmektedir. Eleman sınırlarını düğüm noktaları oluşturmaktadır. Düğüm noktalarındaki değerler bilinerek yapı elemanlarındaki sonuçlar çıkarılır.

Bu çalışmada, DEÇ sisteminin geometrik modeli üç boyutlu bilgisayar destekli dizayn yazılımı ile oluşturulmuş ve yapısal analiz yazılımı ile yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde malzeme olarak yapı çeliği seçilmiştir. Kullanılan malzemelerin et kalınlığı 15mm'dir. Tüm parçalar süpürme tekniği ve otomatik meshing metodu kullanılarak elemanlarına bölünmüştür.

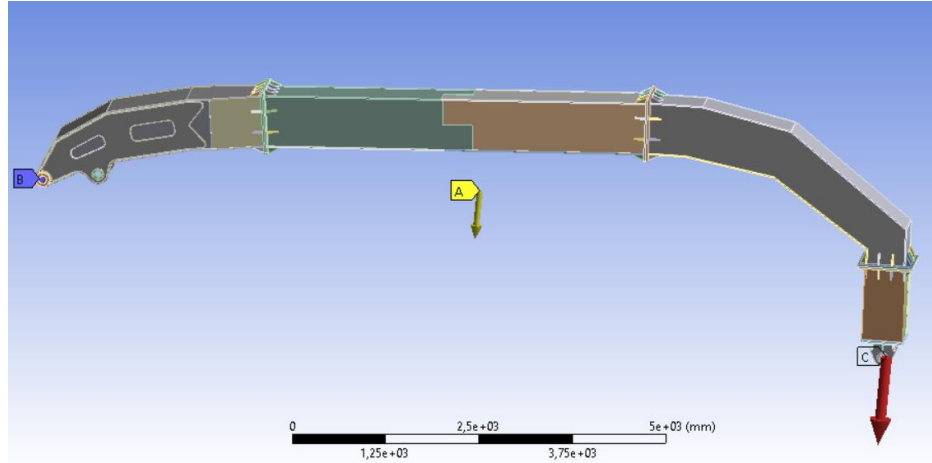
3.4.1. Mekanik Kolun Yapısal Analizleri

Mekanik Kol, yüzer cismin düşey hareketini dişli sistemine iletmektedir. Yüzer cismin ağırlığı, hacmi dalga yüksekliği miktarı, dalga frekansı gibi parametreler yüzer cisme etkiyen kuvvet miktarını etkilemektedir. Yüzer cisim üzerindeki dalga direnci, atalet yükleri, özgül ağırlık ve dinamik etkiler, yüzer cisim üzerindeki bağlantıdan dişli sistemine olan 11.9 m mesafedeki kola doğrudan etki eder.

Yapısal analiz yazılımında 20 mm eleman boyutu ile mekanik kol ağ yapılandırması gerçekleştirilmiştir. Mekanik kol, yapısal analiz yazılımında, 163054 eleman ve 892520 düğümden oluşmaktadır. Şekil 3.53.'te mekanik kolun ağ yapılandırması belirtilmektedir. Şekil 3.54.'de de belirtildiği gibi, yapısal analizler için, kuvvet ve mesnet, yapısal analiz yazılımında tanımlanmıştır.

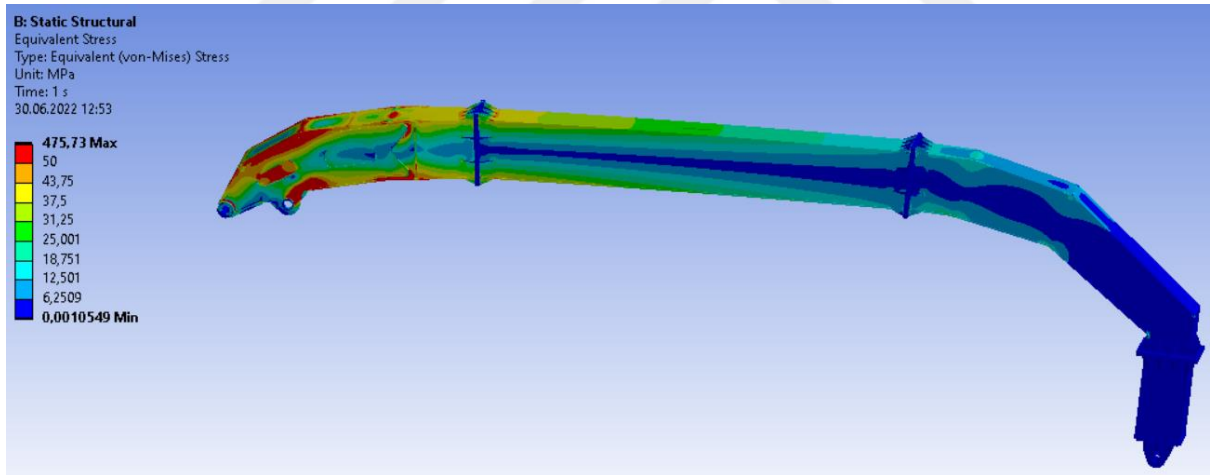


Şekil 3.53. Yapısal analiz yazılımında mekanik kolun ağ (mesh) yapılandırmasının gösterimi.

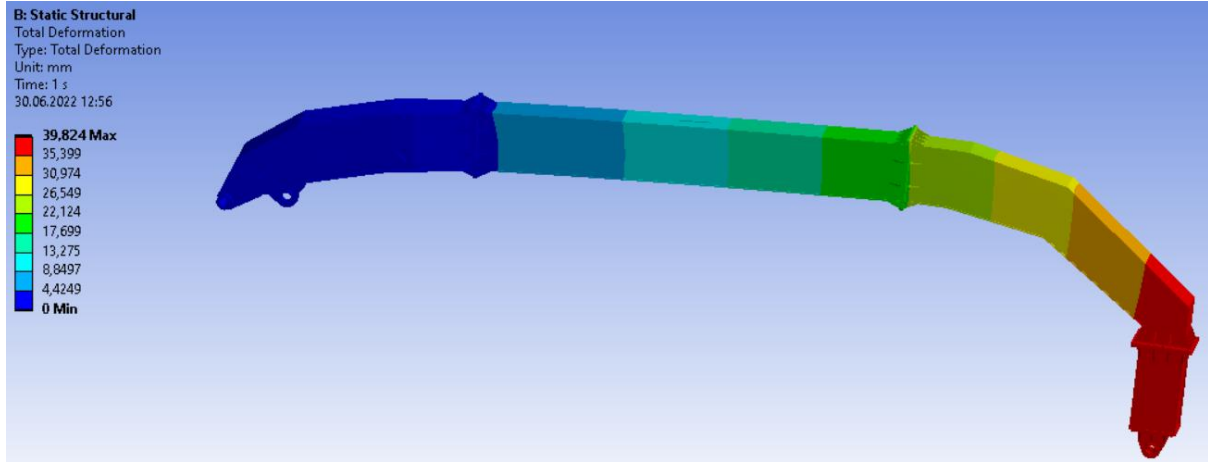


Şekil 3.54. Yapısal analiz yazılımında mesnet, yerçekimi ve kuvvetin tanımlanmasının gösterimi. (A: Yerçekimi, B: Mesnet, C: Uygulanan kuvvet)

Duba ve mekanik kolun ağırlığı toplam 15000 kg'dır. Tüm yüzer cisimlerin ağırlıkları eşittir. Duba ve mekanik kolun ağırlığından oluşan potansiyel enerjiye bağlı oluşan kuvvet 15000N olarak belirlenmiş ve yapısal analiz yazılımı aracılığı ile uygulanmıştır. Şekil 3.55'te mekanik kola etkiyen eşdeğer (Von- Mises) gerilim dağılımı, Şekil 3.56'da ise mekanik kolda meydana gelen toplam deformasyon belirtilmektedir.



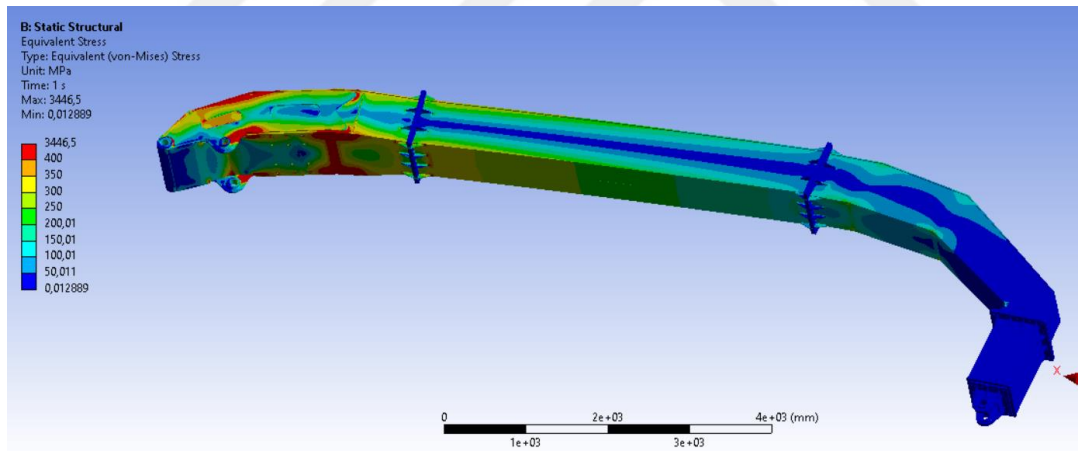
Şekil 3.55. Mekanik kola etkiyen eşdeğer (Von- Mises) gerilim dağılımının gösterimi. (F=15000N)



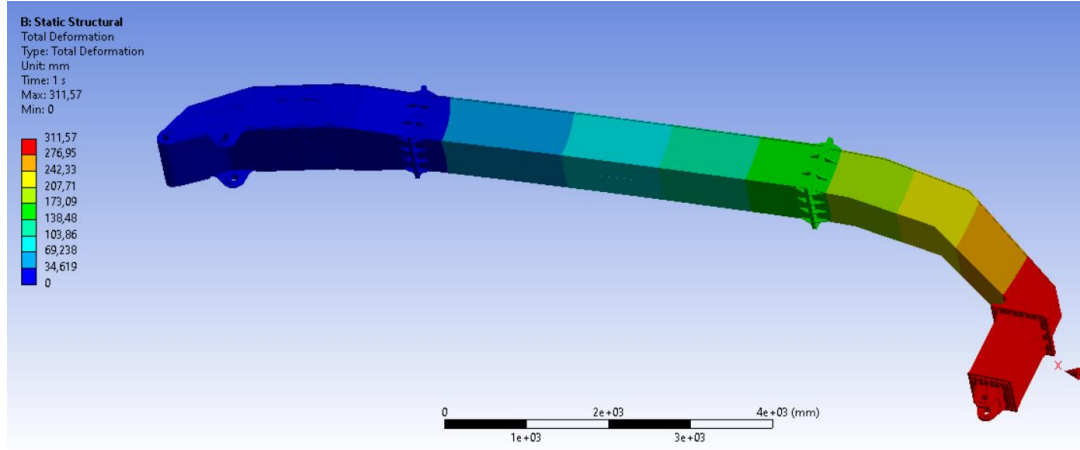
Şekil 3.56. Mekanik kolda meydana gelen toplam deformasyonun gösterimi. ($F=15000N$).

3.4.1.2. HAD analizleri sonucu elde edilen ve dalga etkisi ile oluşan maksimum kuvvetlere göre yapılan yapısal analizler

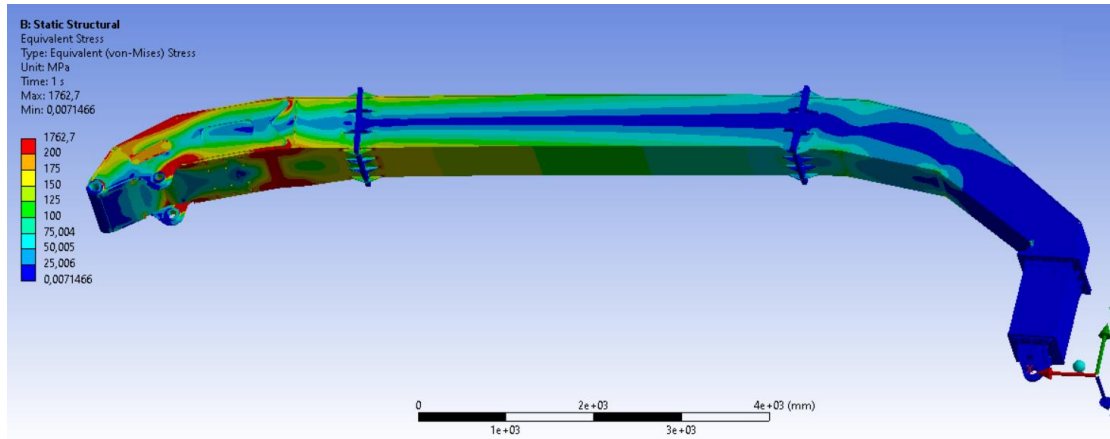
Şekil 3.57., Şekil 3.58., Şekil 3.59., Şekil 3.60., Şekil 3.61., Şekil 3.62., Şekil 3.63. ve Şekil 3.64.'de belirtilen mekanik kolun yapısal analizlerinde, mekanik kola sistemin 2. bağlantı noktasında (Şekil 3.12.), y ekseninde etkiyen maksimum kuvvet değerleri kullanılmıştır (Şekil 4.12).



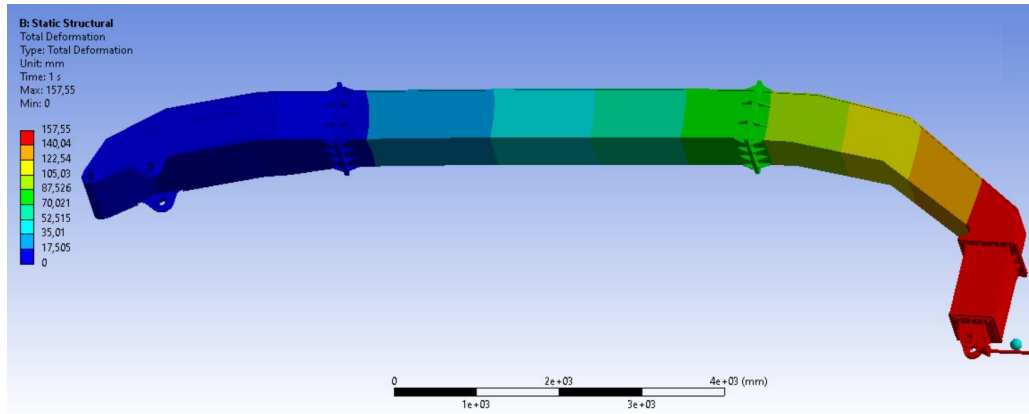
Şekil 3.57. Yüzer Cisim 1 ile yapısal analizi gerçekleştirilen sistem için mekanik kola etkiyen kuvvet etkisi ile oluşan gerilim dağılımının gösterimi ($F= 300000N$)



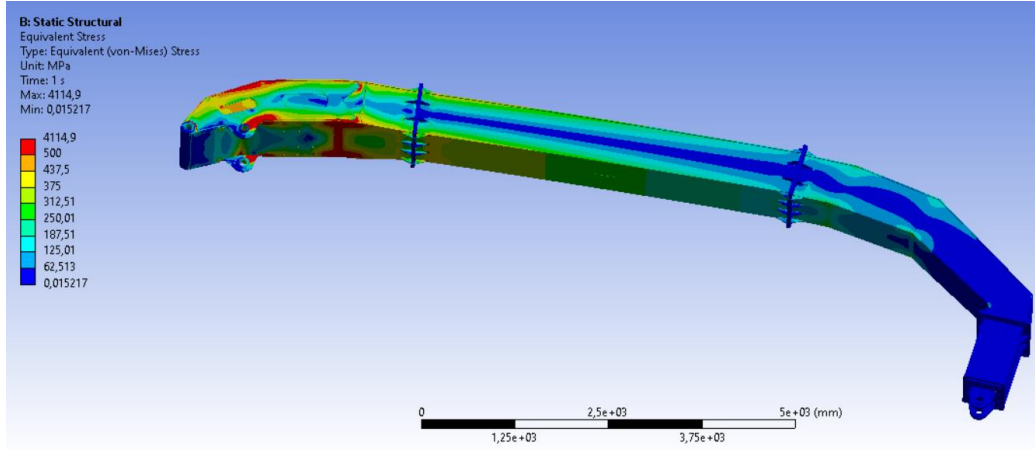
Şekil 3.58. Yüzer Cisim 1 ile analizi edilen sisteme göre Mekanik kolda meydana gelen toplam deformasyonun gösterimi. ($F=300000N$).



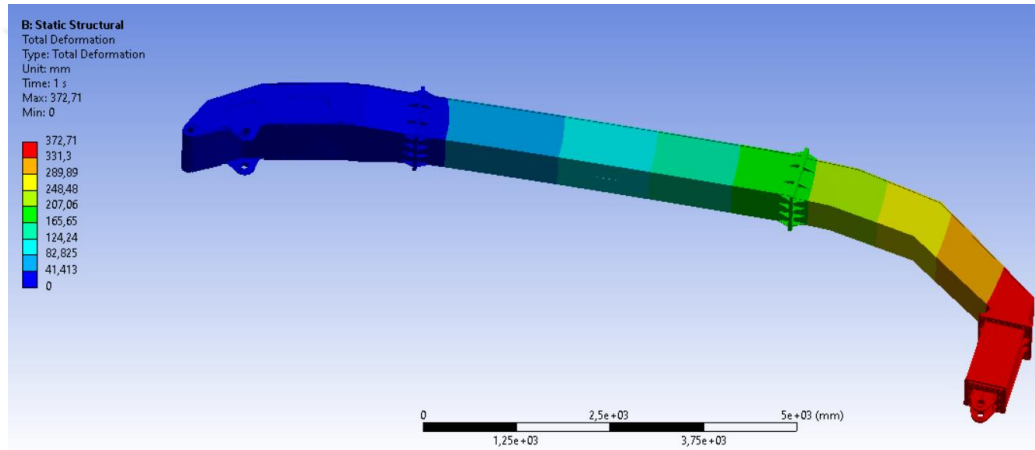
Şekil 3.59. Yüzer Cisim 2 ile yapısal analizi gerçekleştirilen sistem için mekanik kola etkiyen kuvvet etkisi ile oluşan gerilim dağılımının gösterimi ($F= 141300N$)



Şekil 3.60. Yüzer Cisim 2 ile analizi edilen sisteme göre Mekanik kolda meydana gelen toplam deformasyonun gösterimi. ($F= 141300N$).

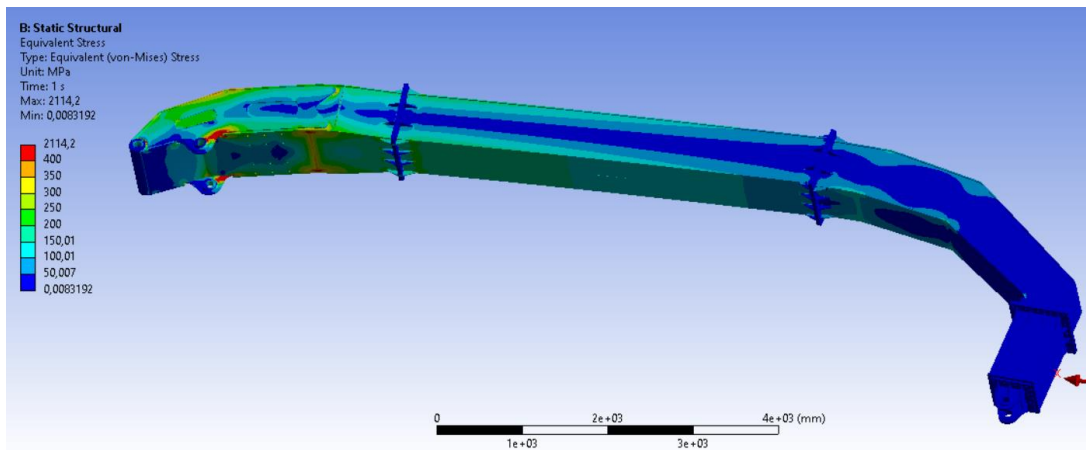


Şekil 3.61. Yüzer Cisim 3 ile yapısal analizi gerçekleştirilen sistem için mekanik kola etkiyen kuvvet etkisi ile oluşan gerilim dağılımının gösterimi ($F= 363000N$)

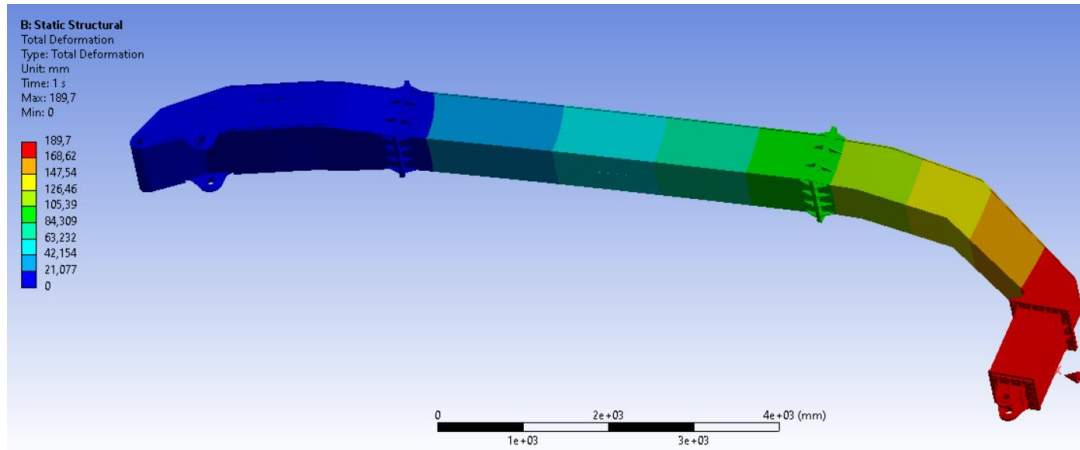


Şekil 3.66

3.62. Yüzer Cisim 3 ile analizi edilen sisteme göre Mekanik kolda meydana gelen toplam deformasyonun gösterimi. ($F= 363000N$).



Şekil 3.63. Yüzer Cisim 4 ile yapısal analizi gerçekleştirilen sistem için mekanik kola etkiyen kuvvet etkisi ile oluşan gerilim dağılımının gösterimi ($F= 174425N$).

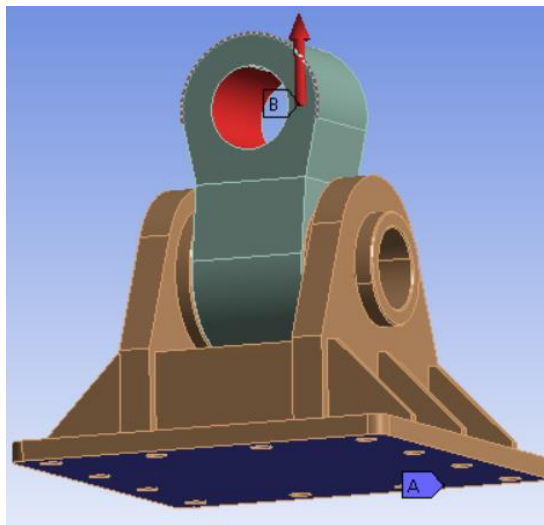


Şekil 3.64. Yüzer Cisim 4 ile yapısal analizi gerçekleştirilen sistem için mekanik kolda meydana gelen toplam deformasyonun gösterimi. ($F= 174425N$).

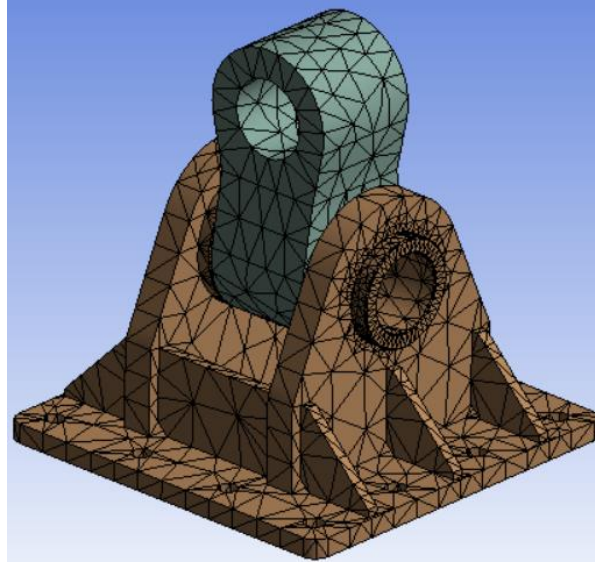
3.4.2. Ara Kolun yapısal analizi

Yapısal analiz yazılımında ara kolun ağ yapılandırması gerçekleştirilmiştir. Ara kol, yapısal analiz yazılımında, 25932 eleman ve 45364 düğümden oluşmaktadır. Şekil 3.66.'da ara kolun ağ yapılandırması belirtilmektedir. Şekil 3.65.'te de belirtildiği gibi, yapısal analizler için, kuvvet ve mesnet yapısal analiz yazılımında tanımlanmıştır.

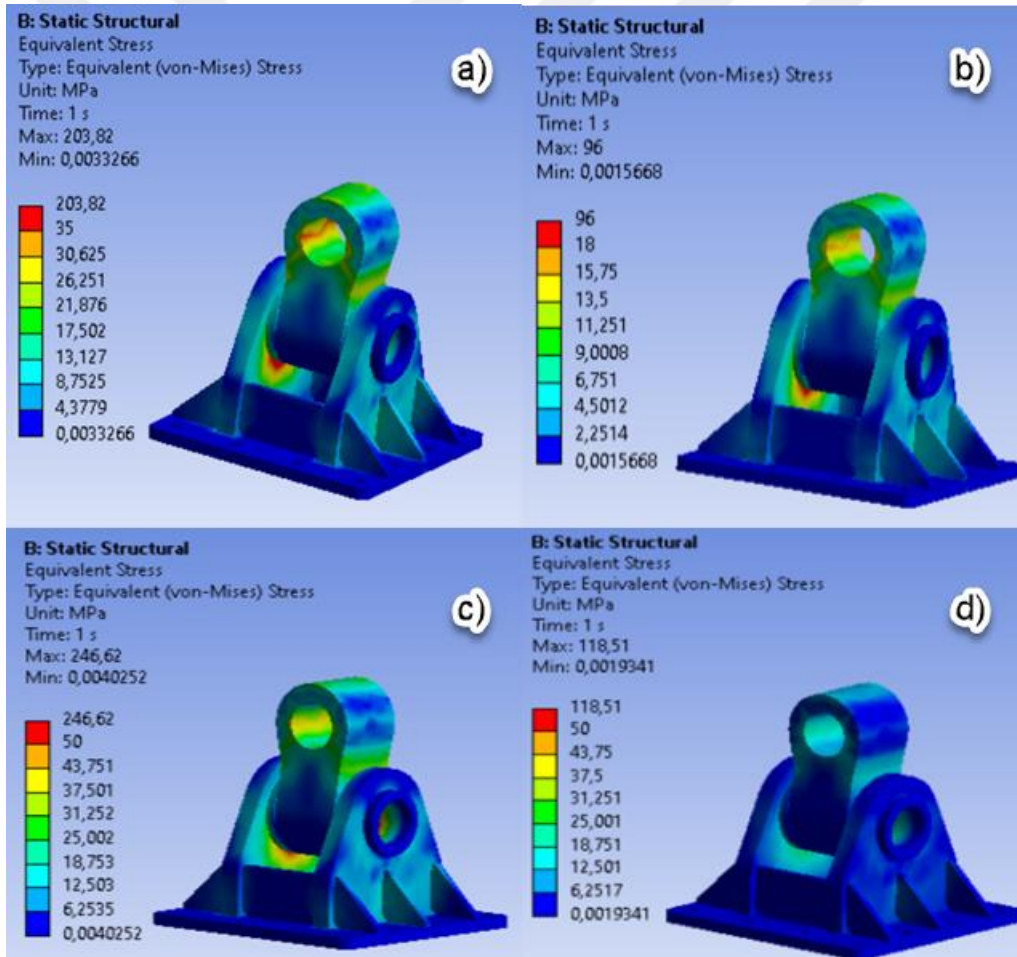
Ara kol, yüzer cisim ile mekanik kolu birbirine bağlayan, DEÇ sisteminin bir elemanıdır. Ara kol, yanal kuvvetleri de tolere edebilecek, farklı eksenlerden gelen dalgaları karşılayabilecek şekilde tasarlanmış ve esnek bir yapıda modellenmiştir. Yapısal analiz yazılımında, 1m dalga yüksekliği ve 5 s periyotlu dalga koşullarında maksimum kuvvete göre analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.67'de 4 farklı yüzer cisim ile oluşturulan DEÇ sisteminin her biri için yapılmış olan yapısal analiz sonucuna göre yüzer cisim ve mekanik kolu birbirine bağlayan ara kola etkiyen kuvvet etkisi ile oluşan gerilim dağılımları belirtilmiştir.



Şekil 3.65. Yapısal analiz yazılımında ara kolda tanımlanan mesnet ve kuvvetin gösterimi. (A: Mesnet, B: Uygulanan kuvvet)



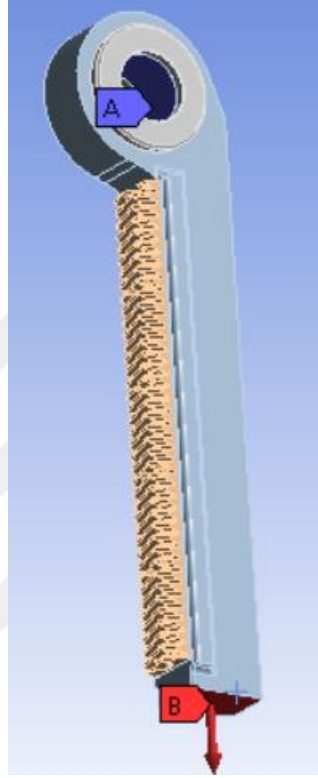
Şekil 3.66. Yapısal analiz yazılımında ara kolun ağ (mesh) yapılandırmasının gösterimi.



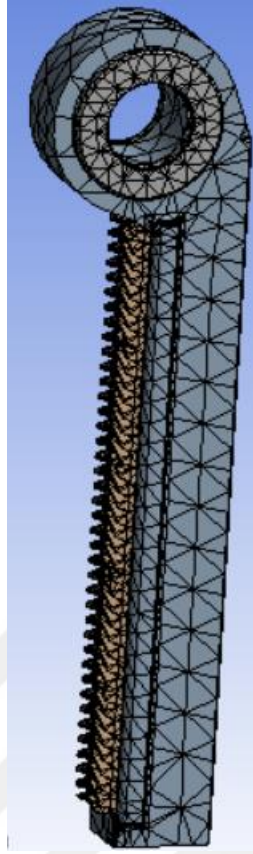
Şekil 3.67. Yüzer cisim ve mekanik kolu birbirine bağlayan ara kola etkiyen kuvvet etkisi ile oluşan gerilim dağılımının gösterimi (a) Yüzer Cisim 1 kullanılan sistem ($F=300000\text{N}$), b) Yüzer Cisim 2 kullanılan sistem ($F= 141300\text{N}$), c) Yüzer Cisim 3 kullanılan sistem ($F= 363000\text{N}$), d) Yüzer Cisim 4 kullanılan sistem ($F= 174425\text{N}$)).

3.4.3. Kramayer Dişlinin yapısal analizi

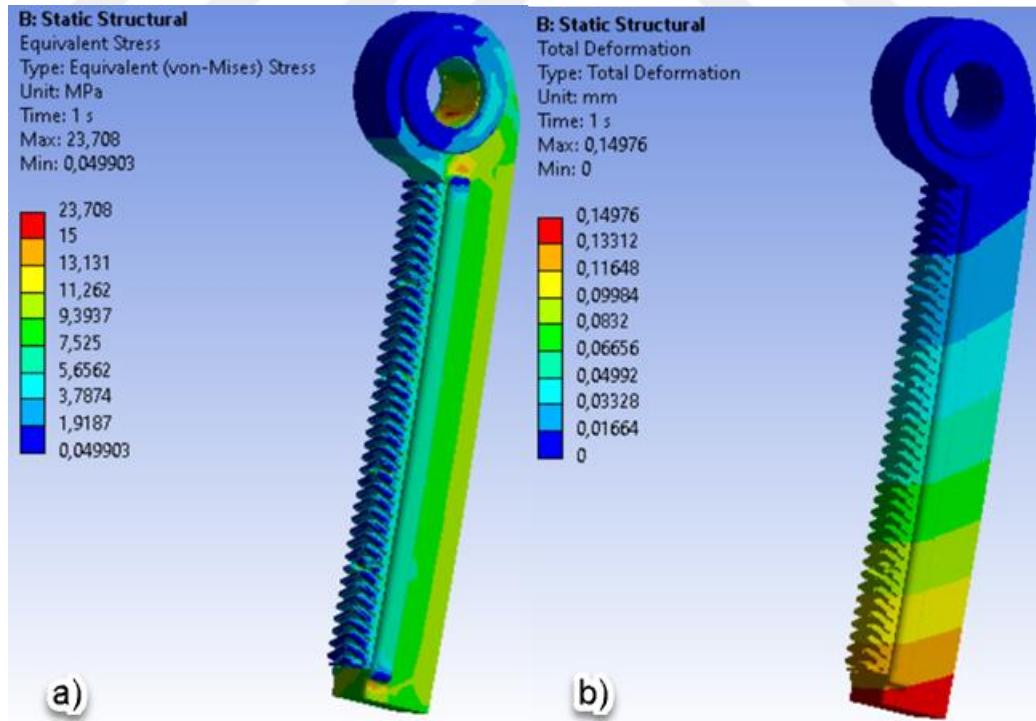
Yapısal analiz yazılımında kramayer dişlinin ağ yapılandırması gerçekleştirilmiştir. Kramayer dişli, yapısal analiz yazılımında, 15148 eleman ve 27676 düğümden oluşmaktadır. Şekil 3.69.'da ara kolun ağ yapılandırması belirtilmektedir. Şekil 3.68.'de de belirtildiği gibi, yapısal analizler için, kuvvet ve mesnet yapısal analiz yazılımında tanımlanmıştır.



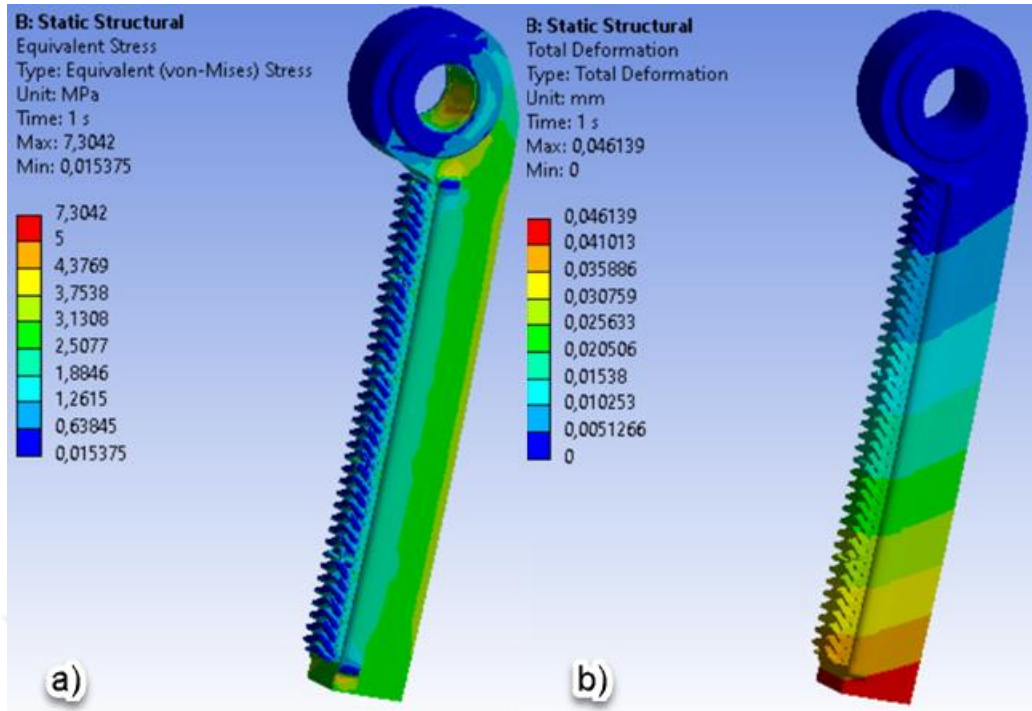
Şekil 3.68. Yapısal analiz yazılımında kramayer dişlide tanımlanan mesnet ve kuvvetin gösterimi. (A: Mesnet, B: Uygulanan kuvvet)



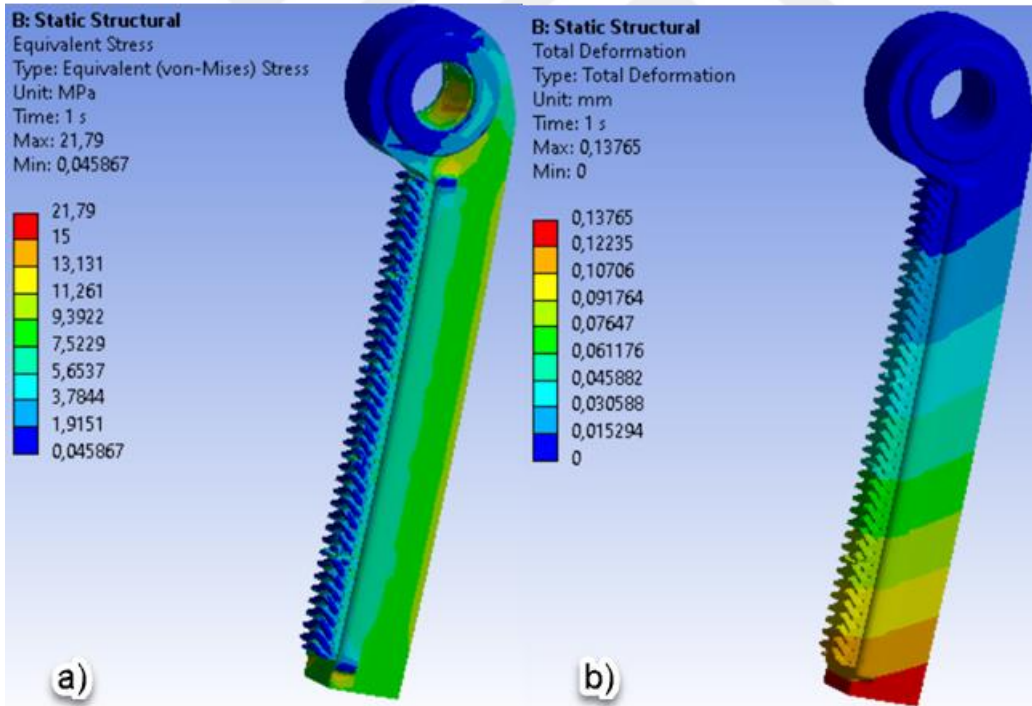
Şekil 3.69. Yapısal analiz yazılımında kramayer dişlinin ağ (mesh) yapılandırmasının gösterimi.



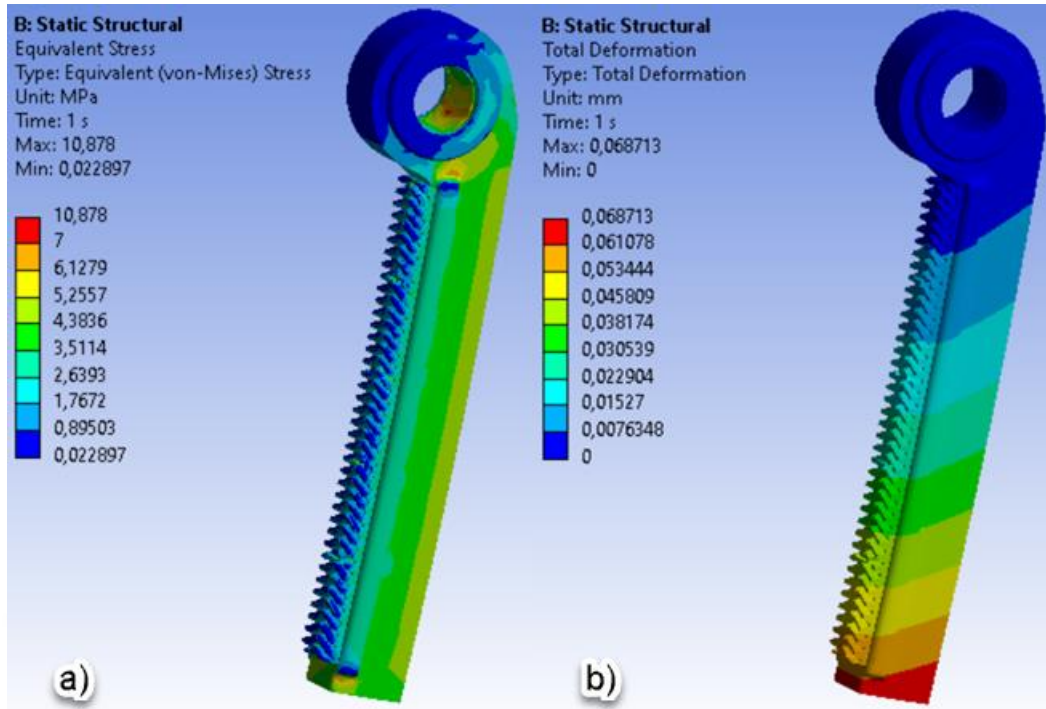
Şekil 3.70. Yüzer cisim 1 ile oluşturulan DEÇ sistemine ait kramayer dişlinin yapısal analizi (F=136000N)



Şekil 3.71. Yüzer cisim 2 ile oluşturulan DEÇ sistemine ait kramayer dişlinin yapısal analizi (F=41900N)



Şekil 3.72. Yüzer cisim 3 ile oluşturulan DEÇ sistemine ait kramayer dişlinin yapısal analizi (F=125000N)

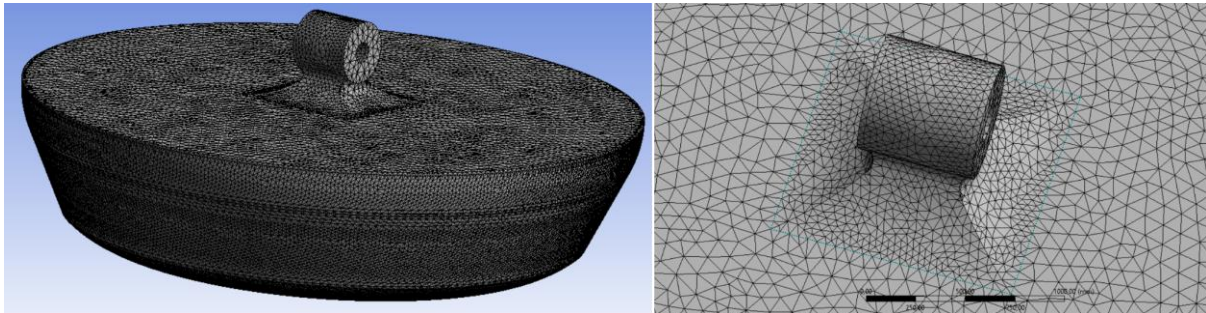


Şekil 3.73. Yüzer cisim 4 ile oluşturulan DEÇ sistemine ait kramayer dişlinin yapısal analizi ($F=62400N$)

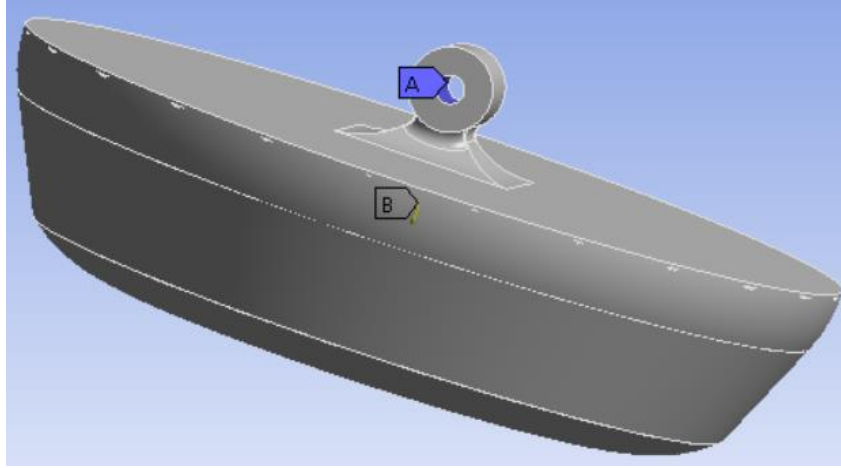
Şekil 3.70., Şekil 3.71., Şekil 3.72. ve Şekil 3.73.'de 4 farklı yüzer cisim ile oluşturulan DEÇ sisteminin her biri için yapılmış olan yapısal analiz sonucuna göre kramayer dişliye etkiyen kuvvet etkisi ile oluşan gerilim dağılımları belirtilmiştir. Bu kuvvetler, Şekil 4.12.'de belirtilen maximum kuvvetlerdir.

3.4.4. Yüzer Cismin Yapısal Analizi

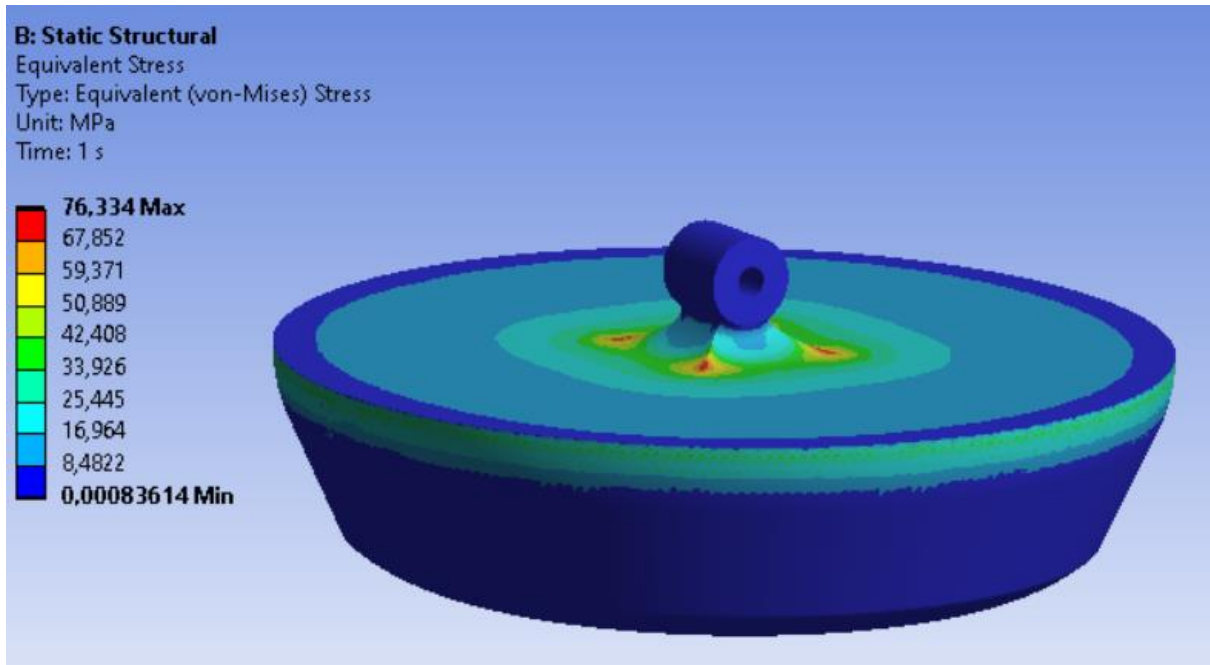
Yapısal analiz yazılımında 50 mm eleman boyutu ile yüzer cisim ağ (mesh) yapılandırması gerçekleştirilmiştir. Yüzer cisim, yapısal analiz yazılımında, 169336 eleman ve 339174 düğümden oluşmaktadır. Şekil 3.74.'de yüzer cismin ağ yapılandırması belirtilmektedir. Şekil 3.75'te de belirtildiği gibi, yapısal analizler için, kuvvet ve mesnet, yapısal analiz yazılımında tanımlanmıştır.



Şekil 3.74. Yapısal analiz yazılımında yüzer cismin ağ (mesh) yapılandırmasının gösterimi.

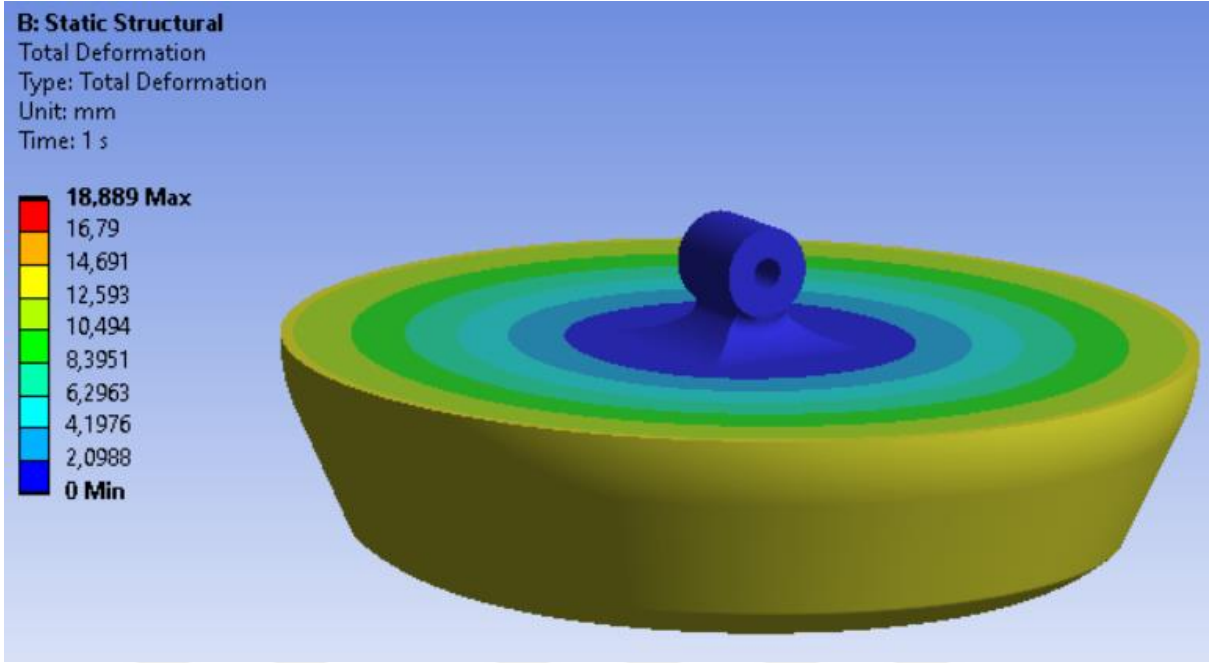


Şekil 3.75. Yapısal analiz yazılımında yüzer cisimde tanımlanan mesnet ve ağırlığın gösterimi. (A: Mesnet, B: Cismin kendi ağırlığı)



Şekil 3.76. Yüzer cisim 3 ile oluşturulan DEÇ sistemine ait yüzer cismin yapısal analizi.

Şekil 3.76.'da yüzer cismin 10 ton olan kendi ağırlığı ile oluşan von-misses gerilim değerleri belirtilmiştir. Şekil 3.77.'de ise Yüzer Cisim 3 ile yapısal analizi gerçekleştirilen yüzer cisimde oluşan toplam deformasyon belirtilmektedir.

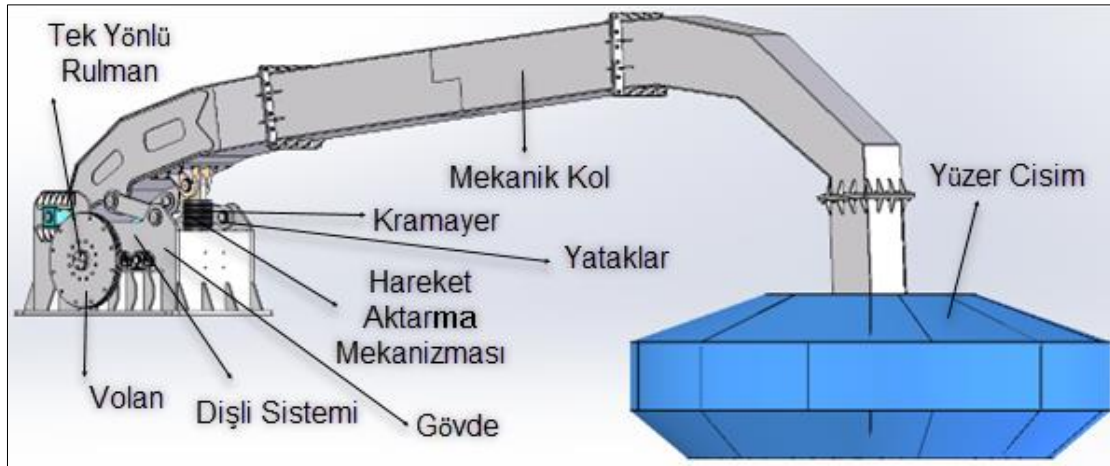


Şekil 3.77. Yüzer Cisim 3 ile yapısal analizi gerçekleştirilen sistem yüzer cisimde oluşan toplam deformasyonun gösterimi.

3.5. Kinematik Analizler

Dalga enerjisi Çeviricisi (DEÇ) bileşenlerinin tasarım yöntemleri bu kısımda verilmiştir.

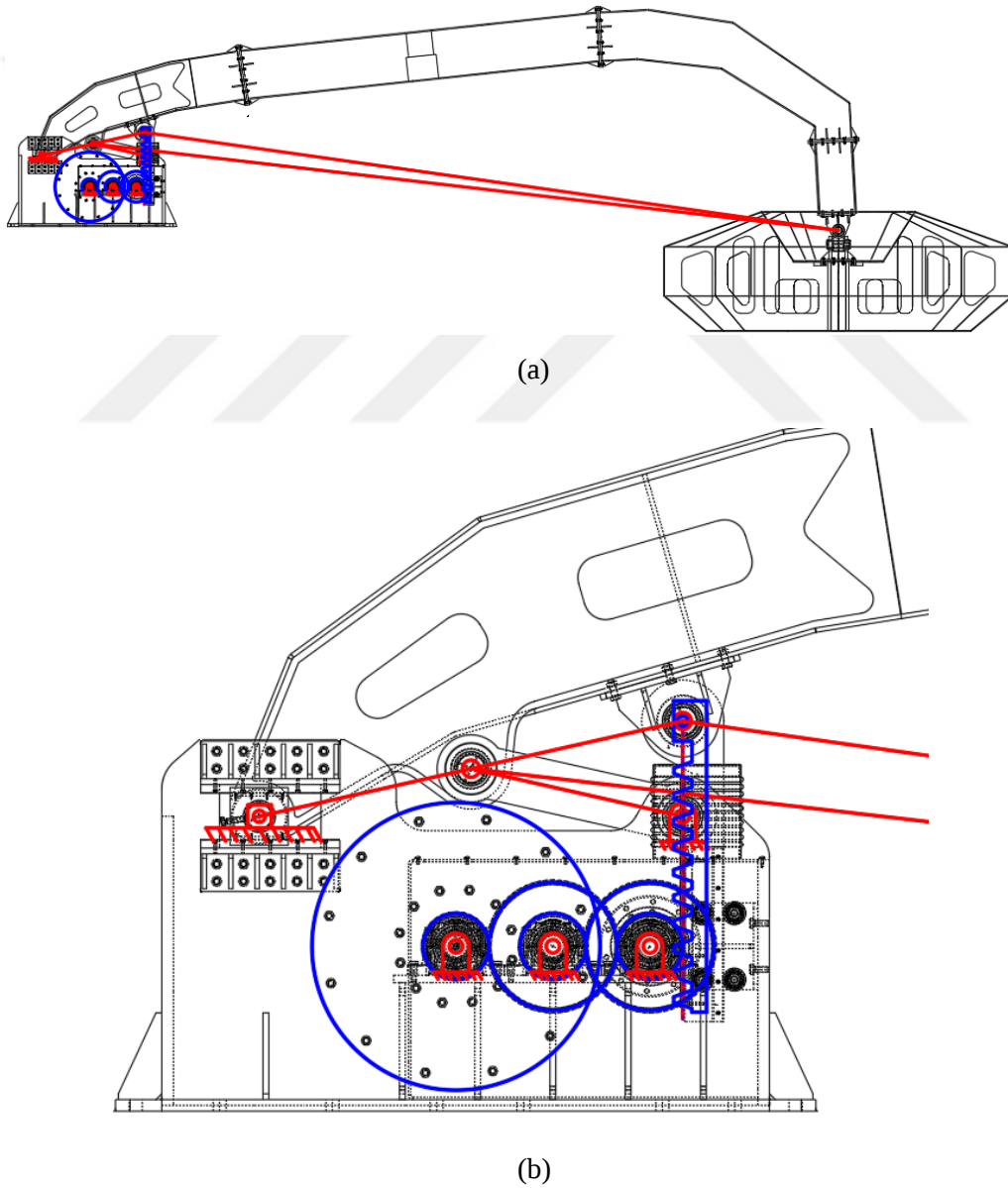
3.5.1. Dalga Enerjisi Çeviricisi (DEÇ) Sisteminin Dalga Hareketini Aktarma Mekanizması Kinematik Çalışması



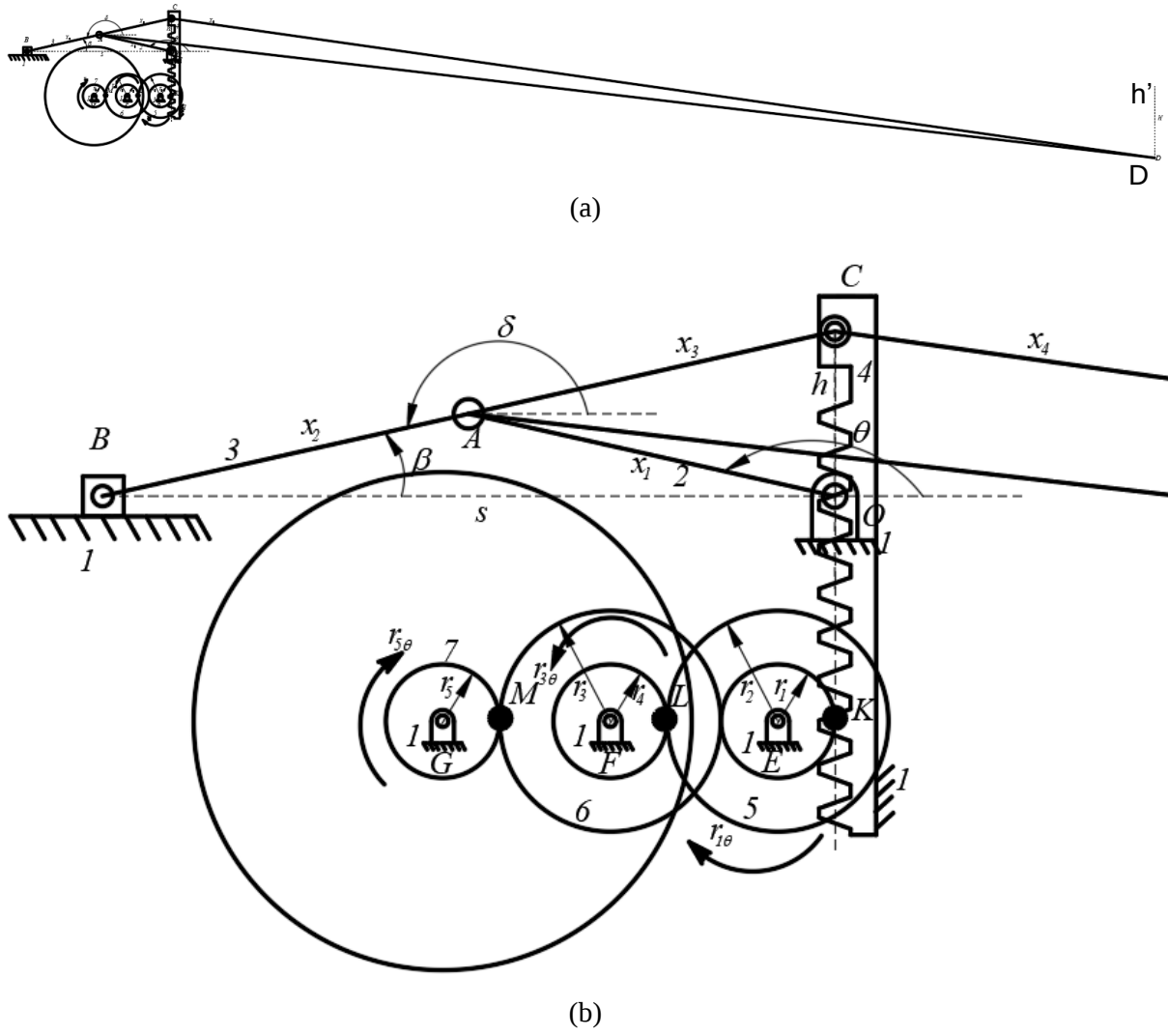
Şekil 3.78. DEÇ Sistemi Parçaları ve Genel Görünüşü

Şekil 3.79.'da DEÇ sistemini bileşenleri belirtilmiştir. Bu bileşenlerden biri olan hareket aktarma mekanizmasının tasarımı için kinematik analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.78.'deki sistemin yan görünüşünden elde edilen hareket aktarma mekanizmasının kinematik diyagramı Şekil 3.79.'da verilmiştir. Şekil 3.80.'de DEÇ sistemi katı modelinden soyutlanmış ve mekanizma hareketinde etkili

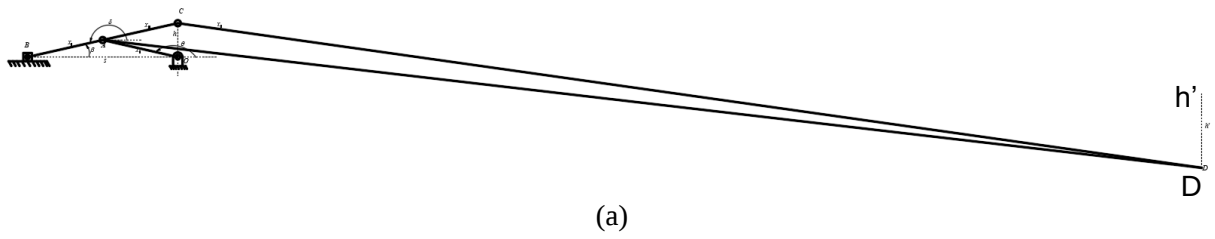
parametreler gösterilmiştir. Burada, dalga enerjisinin düşey hareketini aktarma mekanizması Şekil 3.80.'de görüldüğü gibi krank boyu x_1 , biyel uzunluğu x_2 , biyel uzvu üzerinde krank-biyel pim merkezi A dan x_3 uzaklığında bir C noktası ile C noktasından x_4 uzaklığında bir D noktası bulunan tek serbestlik dereceli bir krank-biyel mekanizmasıdır. Şekildeki orijini O noktasında gösterilen x-y eksen takımı referans alınarak, mekanizmanın 1 nolu gövde üzerindeki O merkezli 2 nolu krank uzvunun açısal konumu x ekseninden ölçülen saatin ters dönme yönü pozitif kabul edilerek θ açısı ile tanımlanmıştır. Benzer biçimde 3 nolu biyelin açısal konumu ise A noktasından geçen yatay doğrultu referans alınarak δ açısı ile belirtilmiştir. B noktasındaki yüksek eleman çifti olarak düşünülen kayar elemanın konumu ise O dan itibaren s ile ölçülmektedir. γ ve β ise mekanizma uzuvlarının oluşturduğu kapalı döngünün iç açılarını simgelemektedir.

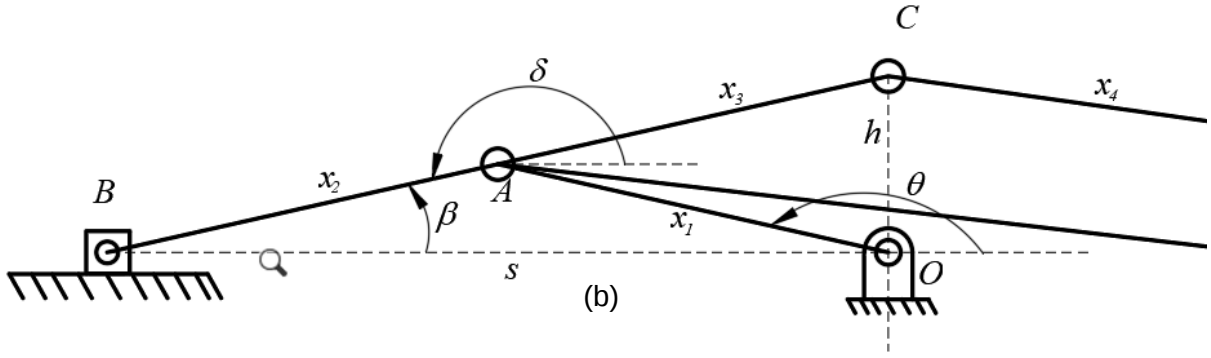


Şekil 3.79. DEÇ Katı model Sisteminden Elde Edilen Hareket Aktarma Mekanizması Kinematik Diyagramı(a) Genel Görünüm, b) detay görünüm)



Şekil 3.80. DEÇ Sistemi Hareket Aktarma Mekanizması Kinematik Diyagramı Parametreleri (a) Genel Görünüm, b) detay görünüm)





Şekil 3.81. DEÇ Sistemi Hareket Aktarma Sistemindeki Krank-Biyel Mekanizması Kinematik Parametreleri (a) Genel Görünüm, b) detay görünüm)

Şekil 3.81.'deki krank-biyel mekanizmasının uzuv boyutları $x_1=x_2=x_3$ olduğunda mekanizmanın biyel uzvu üzerindeki C noktası OC doğrultusunda doğrusal yol izler. Dalga hareket mekanizmasının D noktası ise, yüzer cismin kendi ağırlığını uyguladığı nokta olarak ele alınmıştır.

Buna göre h mesafesi doğrusal yörünge izleyen C noktasının, yüzer cismin aşağı yukarı hareketinde ortaya çıkan yer değiştirme miktarı, h' ise yüzer cismin ağırlığı ile hareket ettirdiği D noktası yer değiştirme olmak üzere Şekil 3.81.'deki dalga hareketi aktarma mekanizmasının uzuvlarının oluşturduğu OAB döngüsünden dalga hareketi aktarma mekanizmasının kayar uzvunun s yer değiştirmesini 1 no'lu giriş kolu dönmesi θ 'ya göre ifade edilmesi için, Şekil 3.81.'deki uzuv boyutlarının vektörel büyüklükler olarak ele alınması ile oluşan OAB vektör döngüsünden aşağıdaki kompleks ve kutupsal formdaki vektörel ifade yazılabilir.

$$x_1 e^{i\theta} + x_2 e^{i\delta} = s e^{i0} \quad (3.1)$$

(3.1) denkleminin kutupsal ifadesi olan iki adet skaler denklem aşağıdaki gibidir.

$$x_1 \cos\theta + x_2 \cos\delta = s \quad (3.2)$$

$$x_1 \sin\theta + x_2 \sin\delta = 0 \quad (3.3)$$

Mekanizmanın kayar uzuv deplasmanı s'yi 1 no'lu giriş kolu dönmesi θ ya bağlı çözmek için (3.2) ve (3.3) denklemlerinde $\cos\delta$ ve $\sin\delta$ terimleri eşitliğin sağına yazılıp yalnız bırakılır ve her iki tarafın karesi alınarak taraf tarafa toplanırsa aşağıdaki bağıntıya ulaşılır.

$$s_{\pm} = x_1 \cos\theta \pm \sqrt{-0.5x_1^2 + x_2^2 + 0.5x_1^2 \cos 2\theta} \quad (3.4)$$

İki adet $s_{\pm}$ çözümünden sadece bir tanesi tasarım amaçlarına uygundur.

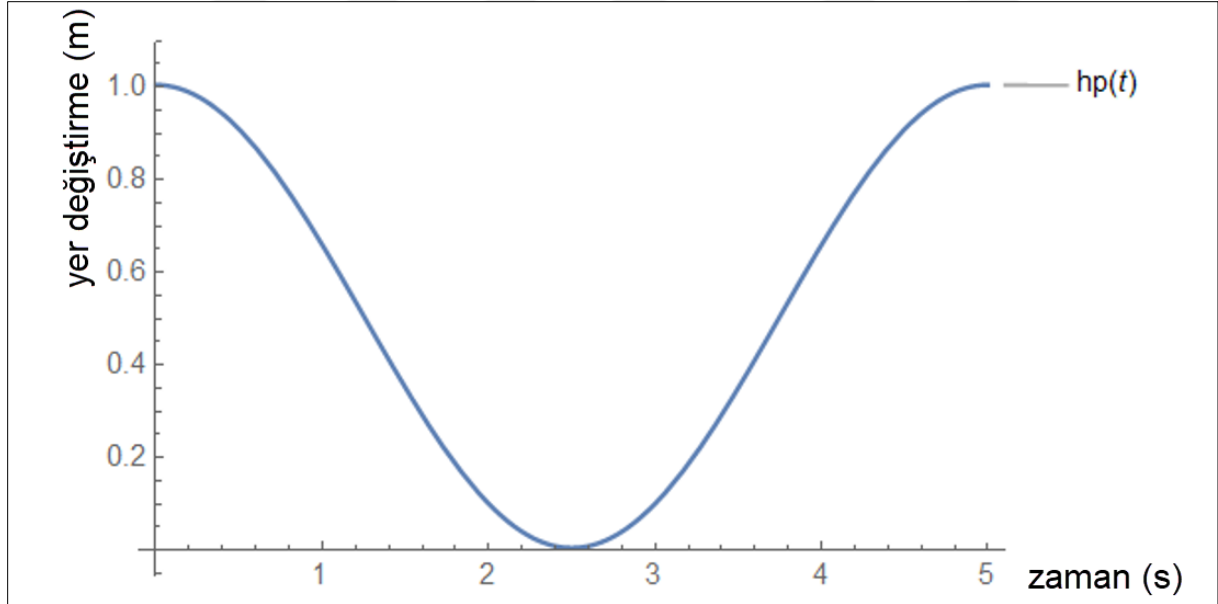
Benzer biçimde 2 nolu biyel kolu açısı δ yı çözmek için (3.4) denkleminde $\sin\delta = \frac{2\tan\frac{\delta}{2}}{1+\tan^2\frac{\delta}{2}}$ yazılıp payda eşitleme sonrasında gerekli düzenlemeler yapılarak ortaya çıkan 2 dereceden polinomun köklerinden, aşağıdaki $\delta_{\pm}$ olarak iki adet çözüm elde edilir. Bunlardan sadece bir tanesi tasarım amaçlarına uygundur.

$$\delta_{\pm} = 2\text{ArcTan}\left[\frac{-x_2 \pm \sqrt{x_2^2 - x_1^2 \sin^2 \theta}}{x_1 \sin \theta}\right] \quad (3.5)$$

Tasarım denklemlerinden DEÇ sisteminin kinematik büyüklükleri hesaplamak amacıyla Şekil 3.85.'teki mekanizmanın D noktasından dalga hareket modeline göre tahrik edilmesi gerekmektedir. h' nün sinüzoidal zamana bağlı hareket denklemi eşitlik (3.6)'daki gibi modellenmiştir.

$$h'(t) = h_1 + h_0 \sin\left(\frac{\pi}{2} + w_t\right) \quad (3.6)$$

Eşitlik (3.6) de h_0 genlik, w açısal frekansı, h_1 D noktasının başlangıcını, t de zamanı simgelemektedir. 5 saniye periyot ve 1 metre dalga yüksekliğindeki (3.6) denklemin grafiği Şekil 3.86'daki gibidir.



Şekil 3.82. 5 saniye periyot ve 1 metre dalga yüksekliğindeki (3.6) denkleminin grafiği

$$s_{(t)} = -2 x_1 \sqrt{1 - \frac{h'(t)^2}{(2x_1 + x_4)^2}} \quad (3.7)$$

$$\beta_{(t)} = 2 \arctan\left(\frac{2x_1 + x_4 - \sqrt{-h'(t)^2 + (2x_1 + x_4)^2}}{h'(t)}\right) \quad (3.8)$$

$$\theta(t) = \pi - 2 \arctan \left(\frac{2x_1 + x_4 - \sqrt{(2x_1 + x_4)^2 - h'(t)^2}}{h'(t)} \right) \quad (3.9)$$

$$\delta(t) = -\pi + 2 \arctan \left(\frac{2x_1 + x_4 - \sqrt{(2x_1 + x_4)^2 - h'(t)^2}}{h'(t)} \right) \quad (3.10)$$

Şekil 3.82.'deki sinüzoidal h' tahrik sonucu krank biyel mekanizmasının s , β , θ ve δ büyüklükleri eşitlik, sırası ile, (3.7), (3.8), (3.9) ve (3.10)'da verilmiştir.

Ayrıca Şekil 3.82'deki mekanizmanın C noktasını düşey hareketi h' 'ın zamana göre değişimi denklem (3.11)'de, h_0 referansına göre dh yer değiştirmesi ise denklem (3.12)'de gösterilmiştir.

$$h(t) = h'(t) \cdot 2x_1 / (2x_1 + x_4) \quad (3.11)$$

$$dh(t) = h(t) - h(0) \quad (3.12)$$

$$hg[t] = (2x_1 + x_g) \cdot hp[t] / (2x_1 + x_4); \quad (3.13)$$

DEÇ mekanizmasının ağırlık merkezinin yer değiştirmesi eşitlik (3.13) deki gibidir.

Şekil 3.81.'deki mekanizmada, mekanizmanın biyel uzvu üzerindeki D noktasının dalga hareketine uygun olarak aşağı yukarı hareketinin mekanizmanın biyeli üzerindeki C noktasının düşey yöndeki doğrusal yer değiştirmesini volanda uygun miktarda dönmeye çevirmek amacıyla Şekil 3.80.'deki hareketli mekanik düzenleme geliştirilmiştir.

Bu düzenlemede Şekil 3.80.'deki mekanizmanın doğrusal yörünge izleyen C biyel noktasına bir kramayer dişli döner mafsalla, gövdeye de kayar eleman çifti yardımı ile 4 no'lu uzuv olarak yataklanmıştır. Karamayerin tahrik ettiği 5 nolu r_1, r_2 yarıçaplı E merkezli dişli çifti ile 6 no'lu r_3, r_4 yarı çaplı F merkezli dişli çifti ve 7 no'lu r_5 yarı çaplı G merkezli dişli yardımı ile dalga hareketi uygun devir sayısı ile 7 no'lu dişlinin G noktasındaki yatağına tek yönlü rulman ile yataklanmış r_t yarıçaplı volana aktarılmıştır. Burada K, LM noktaları dişlilerin bölüm dairelerinin temas noktası, H noktası ise volanın zemin üzerindeki yuvarlanma temas noktasıdır. α açısı ise 6 ve 7 nolu dişlinin merkez eksenin yatayla yaptığı açıyı simgelemektedir.

Şekil 3.80.'deki mekanizma **istemi** aynı zamanda DEÇ mekanizması olarak da değerlendirilebilir. Bu mekanizma sisteminin serbestlik derecesi f' 'yi hesaplamak için, uzuv sayısı $n=7$, adi eleman çifti sayısı $l=7$ ve yüksek eleman çifti sayısı $h=4$ olmak üzere,

$$f = 3(n-1) - 2l - h = 3(7-1) - 2*7 - 4 = 0 \quad (3.14)$$

olur. (3.14) denkleminde görüldüğü üzere mekanizmanın serbestlik derecesi sıfır çıkmasına rağmen, Şekil 3.80.'deki dalga hareketi aktarma mekanizmasının özel boyutlarından dolayı, mekanizmanın gerçekte serbestlik derecesi 1 dir. Yani, mekanizma zorunlu hareketlidir.

Şekil 3.80.'deki mekanizmanın x_1 kolunun θ giriş kolu dönmesine karşılık gelen 7 no'lu dişlinin aynı zamanda bu dişlinin miline bağlı volanın dönme miktarının hesaplanması için aşağıdaki eşitliklerden faydalanılır.

$$r_{1\theta} = r_{2\theta} = \frac{h_{\pm}}{r_1} \quad (3.15)$$

$$r_{3\theta} = r_{4\theta} = \frac{r_2}{r_4} r_{2\theta} \quad (3.16)$$

$$r_{5\theta} = \frac{r_3}{r_4} r_{3\theta} \quad (3.17)$$

$$r_{5\theta \max} = \frac{r_3 r_2 h_{\max}}{r_4 r_5 r_1} \quad (3.18)$$

Burada, 4 nolu kramayer dişlinin düşey yerdeğiştirmesi $h_{\pm}$ nin θ ya bağlı ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$h_{\pm} = x_1 \sin \theta + x_3 \sin(\delta_{\pm} + \pi) \quad (3.19)$$

Ayrıca (3.19) deki 2 nolu uzvun açısıl konumu olan $\delta_{\pm}$ nin θ ya bağlı ifadesi eşitlik (3.5)'te verilmiştir.

Elde edilen hareket denklemlerinden mekanizma uzuvlarının ve uzuv üzerindeki bazı noktaların hız ve ivme ifadeleri aşağıda verilmiştir.

$$r_{1\theta}(t) = dh(t)/r_1 \quad (3.20)$$

$$r_{2\theta}(t) = dh(t)/r_1 \quad (3.21)$$

$$r_{3\theta}(t) = -\frac{r_2}{r_4} r_{2\theta}(t) \quad (3.22)$$

$$r_{4\theta}(t) = -\frac{r_2}{r_4} r_{2\theta}(t) \quad (3.23)$$

$$r_{5\theta}(t) = -\frac{r_3}{r_5} r_{3\theta}(t) \quad (3.24)$$

(3.20), (3.21), (3.22), (3.23) ve (3.24) denklemlerinde yer alan $r_{1\theta}, r_{2\theta}, r_{3\theta}, r_{4\theta}$ ve $r_{5\theta}$, ifadeleri, kramayerin bir çevrimdeki yer değiştirmesi esnasında dişlilerde oluşan dönme miktarlarını belirtmektedir.

$$V_{h'}(t) = \frac{dh'}{dt} \quad (3.25)$$

$$V_s(t) = \frac{ds(t)}{dt} \quad (3.26)$$

$$w_{\delta}(t) = \frac{d\delta(t)}{dt} \quad (3.27)$$

$$w_{\theta}(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (3.28)$$

$$V_h(t) = \frac{d_h}{d_t} \quad (3.29)$$

$$V_{hg}(t) = \frac{d_{hg}}{d_t} \quad (3.30)$$

(3.25), (3.26), (3.27), (3.28), (3.29) ve (3.30) denklemlerinde yer alan burada V_h - değerleri, kramayerin bir çevrimdeki yer değiştirmesi esnasında mekanizma kollarının açısal hızları ile kramayer ve ağırlık merkezinin doğrusal hızlarıdır.

$$w_{r1\theta}(t) = -v_{h(t)}/r_1 \quad (3.31)$$

$$w_{r2\theta}(t) = w_{r1\theta}(t) \quad (3.32)$$

$$w_{r3\theta}(t) = w_{r4\theta}(t) \quad (3.33)$$

$$w_{r4\theta}(t) = \frac{r_2}{r_4} w_{r2\theta}(t) \quad (3.34)$$

$$w_{r5\theta}(t) = -\frac{r_3}{r_4} w_{r3\theta}(t) \quad (3.35)$$

(3.31), (3.32), (3.33), (3.34) ve (3.35) ifadeleri, kramayerin bir çevrimdeki yer değiştirmesi esnasında mekanizmaya bağlı dişlilerin açısal hızlarını simgelemektedir.

$$a_{h'}(t) = \frac{dv_{h'}}{d_t} \quad (3.36)$$

$$a_h(t) = \frac{dv_h}{d_t} \quad (3.37)$$

$$a_{hg}(t) = \frac{dv_{hg}}{d_t} \quad (3.38)$$

$$\alpha_\delta(t) = \frac{dw_\delta(t)}{d_t} \quad (3.39)$$

$$\alpha_\theta(t) = \frac{dw_\theta(t)}{d_t} \quad (3.40)$$

$$\alpha_{wr1\theta}(t) = \frac{dw_{r1\theta}(t)}{d_t} \quad (3.41)$$

$$\alpha_{wr2\theta}(t) = \frac{dw_{r2\theta}(t)}{d_t} \quad (3.42)$$

$$\alpha_{wr3\theta}(t) = \frac{dw_{r3\theta}(t)}{d_t} \quad (3.43)$$

$$\alpha_{wr4\theta}(t) = \frac{dw_{r4\theta}(t)}{d_t} \quad (3.44)$$

$$\alpha_{wr5\theta}(t) = \frac{dw_{r5\theta}(t)}{d_t} \quad (3.45)$$

burada α_h , kramayerin bir çevrimdeki yer değiştirmesi esnasında mekanizma kollarının ve kramayer ile ağırlık merkezinin açısal hızları ve doğrusal hızlarıdır.

Yukarıdaki hareket denklemlerinden yola çıkarak volan milinde oluşan dinamik ve statik tork ifadesi aşağıdaki gibi görünen iş yöntemi yardımıyla yazılır.

$$T_{statik}(t) = -(F_{h'}v_{h'}(t) + F_{g3}v_{hg}(t)) / w_{r5\theta}(t) \quad (3.46)$$

$$T_{dinamik}(t) = -(F_{h'}a_{h'}(t)v_{h'}(t) - F_{g3}a_{hg}(t)v_{hg}(t) - I_{g3}\alpha_{\delta}(t)w_{\delta}(t) - I_v\alpha_{wr5\theta}(t)w_{r5\theta}(t)) / w_{r5\theta}(t) \quad (3.47)$$

(3.46) ve (3.47) denklemlerinde, I_{g3} mekanizma kolunun kütle merkezi etrafındaki kütle atalet momentini, I_v ise kullanılan volanın atalet momentini simgelemektedir. Başlangıç tasarımı için volanın kütle atalet momenti sıfır alınmıştır.

Yukarıdaki hareket denklemleri kullanılarak sayısal sonuçlar elde etmek amacıyla çalışmada tasarlanana DEÇ sisteminin katı model geometrisi üzerinden elde edilen boyutlar aşağıda verilmiştir.

$$h_0 = 0.5 \text{ m}$$

$$h_1 = (h_0 + 5) / 1000 \text{ m}$$

$$m_b = 10000 \text{ kg}$$

$$m_3 = 3000 \text{ kg}$$

$$\text{periyot} = 5 \text{ s}$$

$$g = 10$$

$$w = 2 \pi / \text{periyot}$$

$$\text{kat} = \pi / 180$$

$$x_1 = 0.75 \text{ m}$$

$$x_4 = 10 \text{ m}$$

$$x_g = 0.5 \text{ m}$$

$$r_1 = 0.1 \text{ m}$$

$$r_2 = 0.22 \text{ m}$$

$$r_3 = 0.22 \text{ m}$$

$$r_4 = 0.1 \text{ m}$$

$$r_5 = 0.1 \text{ m}$$

$$I_v = 0$$

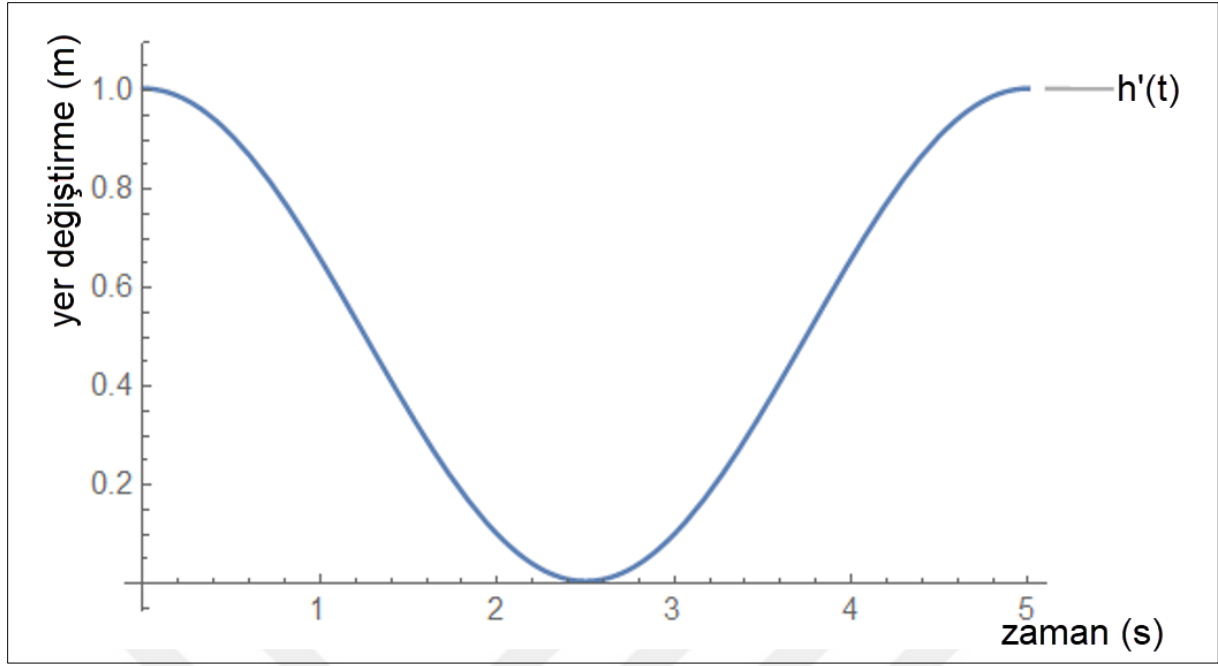
$$F_{h'} = -m_b g$$

$$F_{g3} = -m_3 g$$

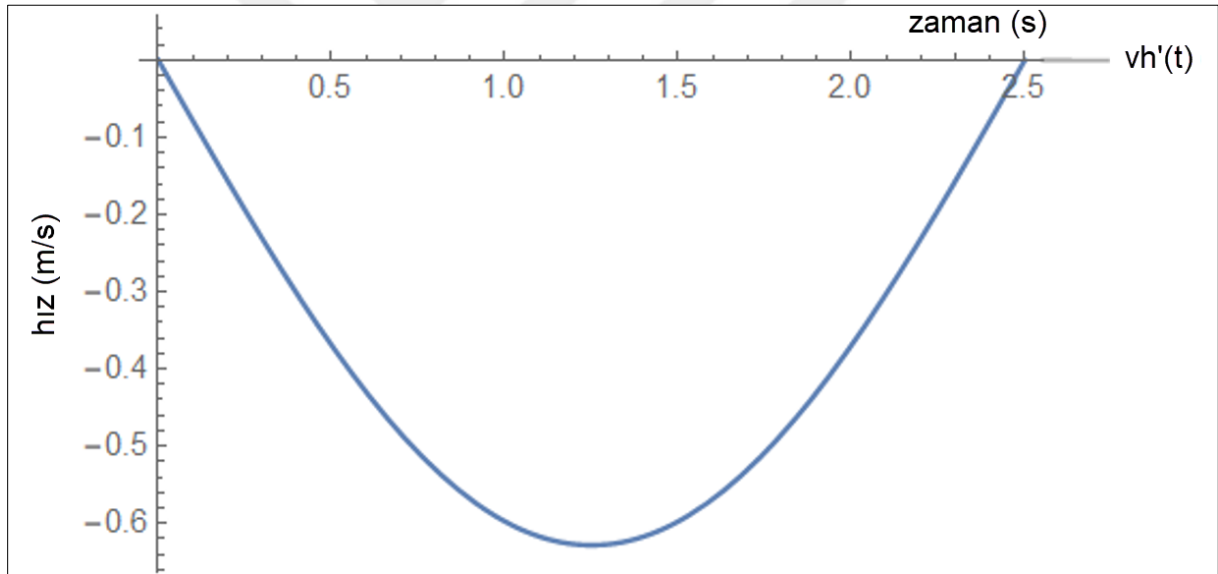
$$I_{g3} = 90000$$

$$F_k = m_b g + m_3 g / 2$$

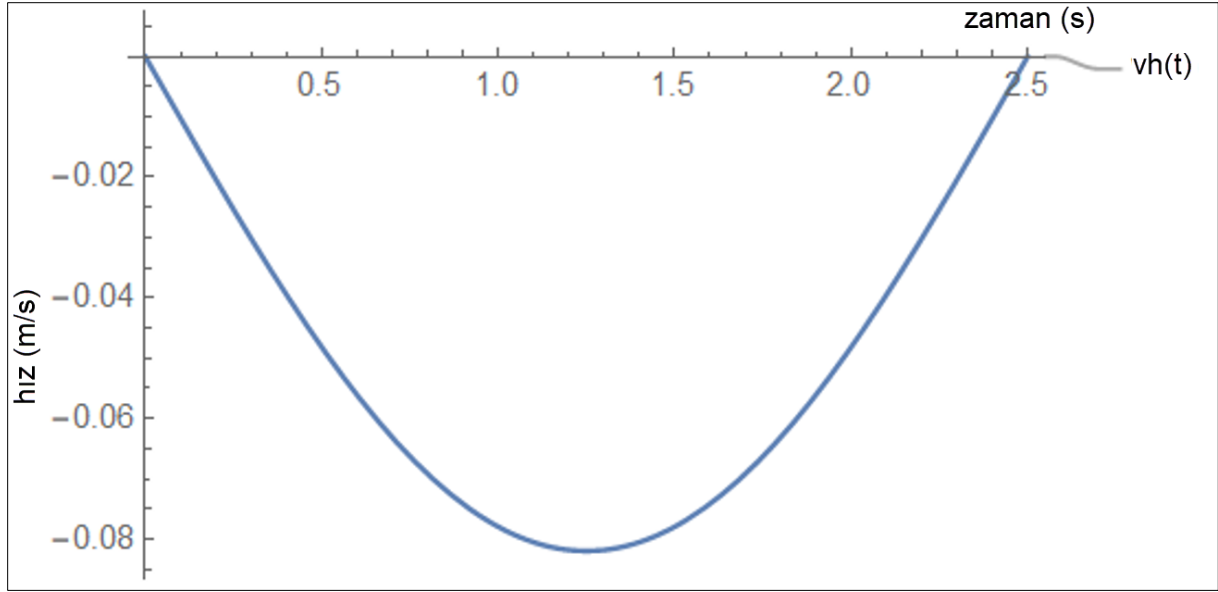
Bu sayısal veriler göre dalga hareketinin iş yapan 2.5 saniyedeki yer değiştirme, hız ivme grafikleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



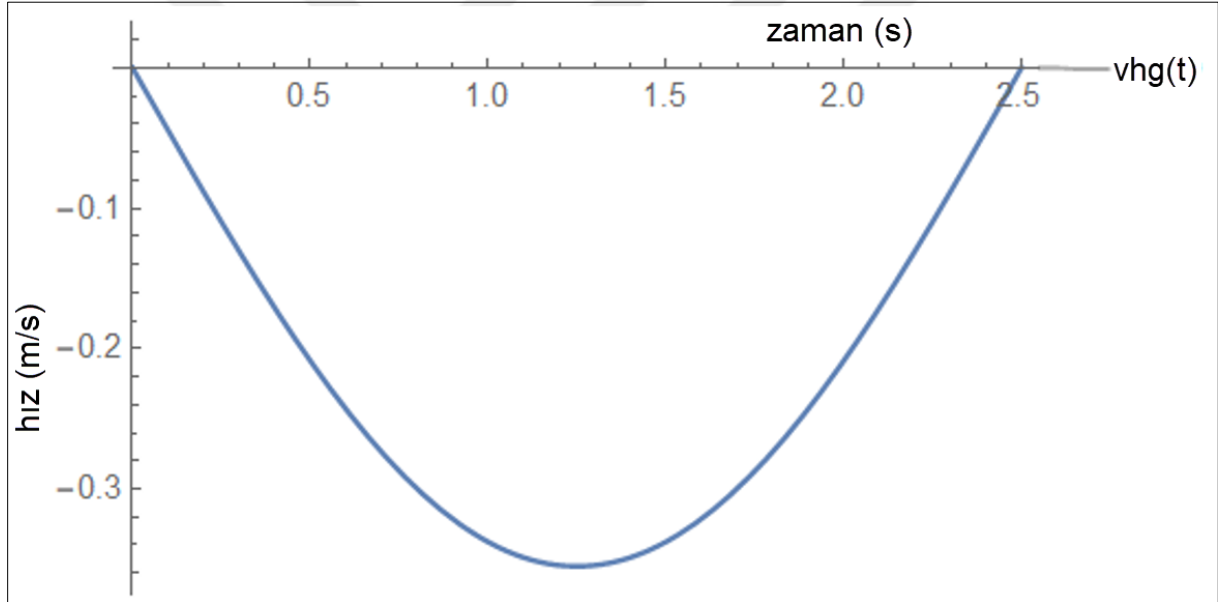
şekil 3.83. Yüzer cismin düşey hareketinin zamana göre değimi



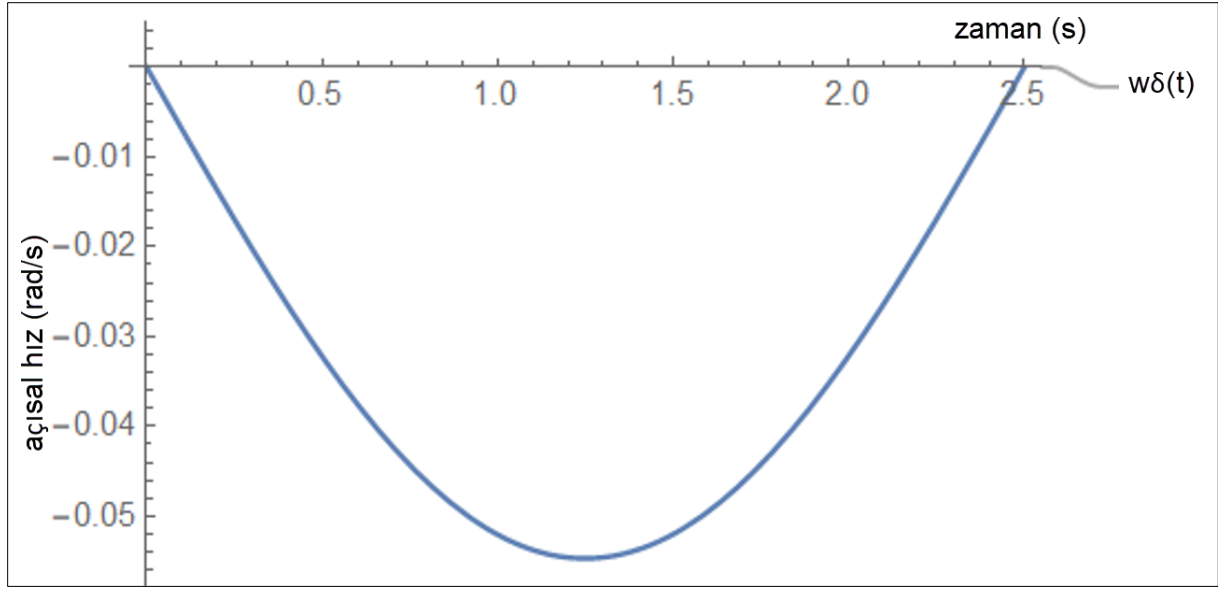
şekil 3.84. Kramayer bağlantı noktasının hızı



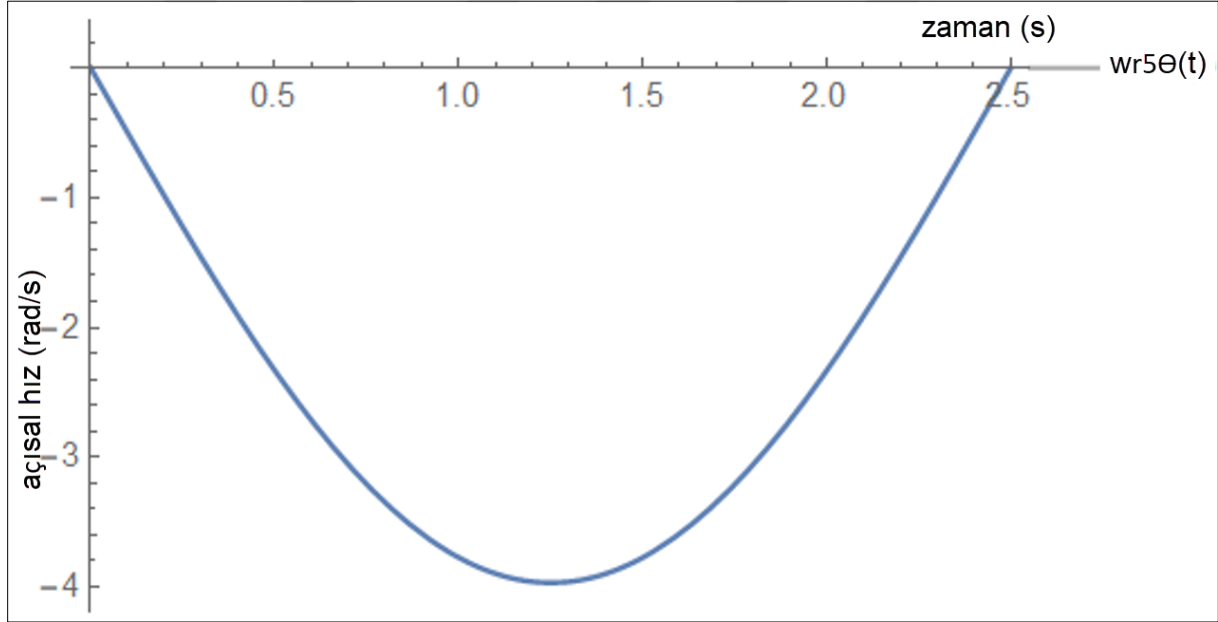
Şekil 3.85. Kramayer bağlantı noktasının hızı



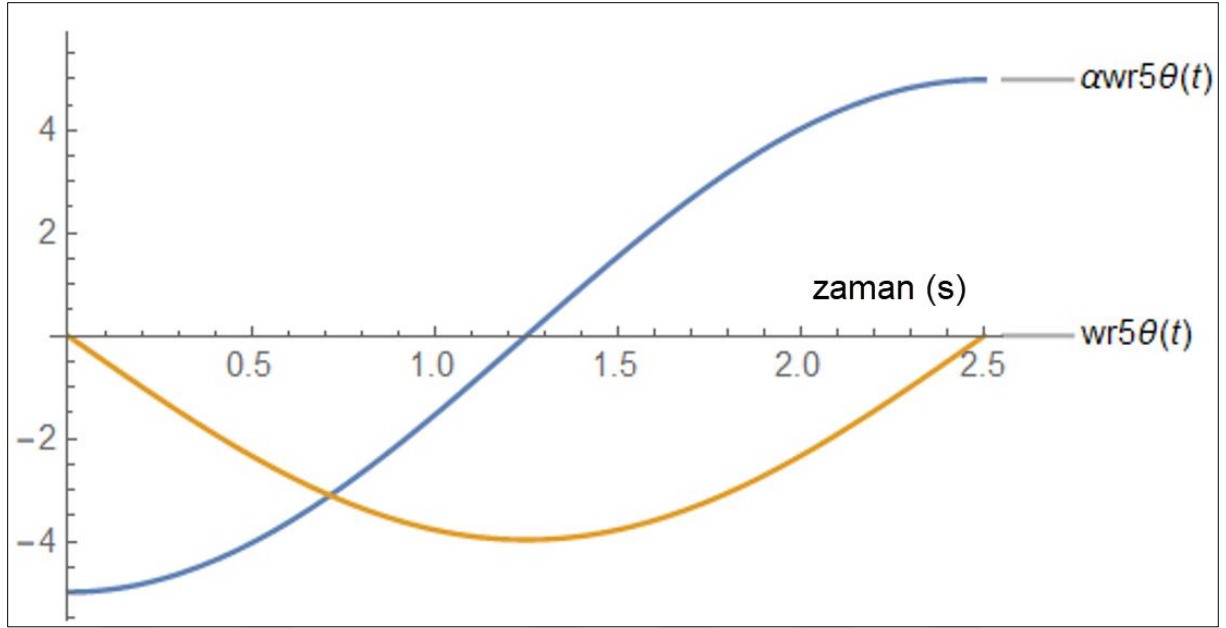
Şekil 3.86. Mekanik kolun ağırlık merkezinin düşey hızı.



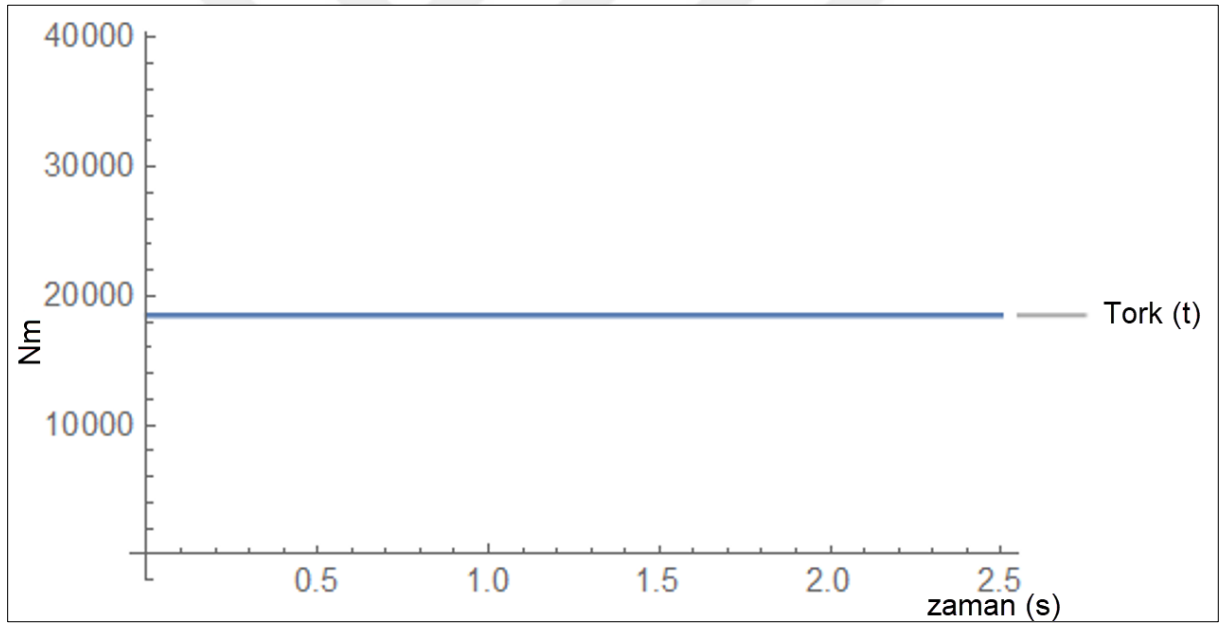
Şekil 3.87. Mekanik kolun açısal hızı.



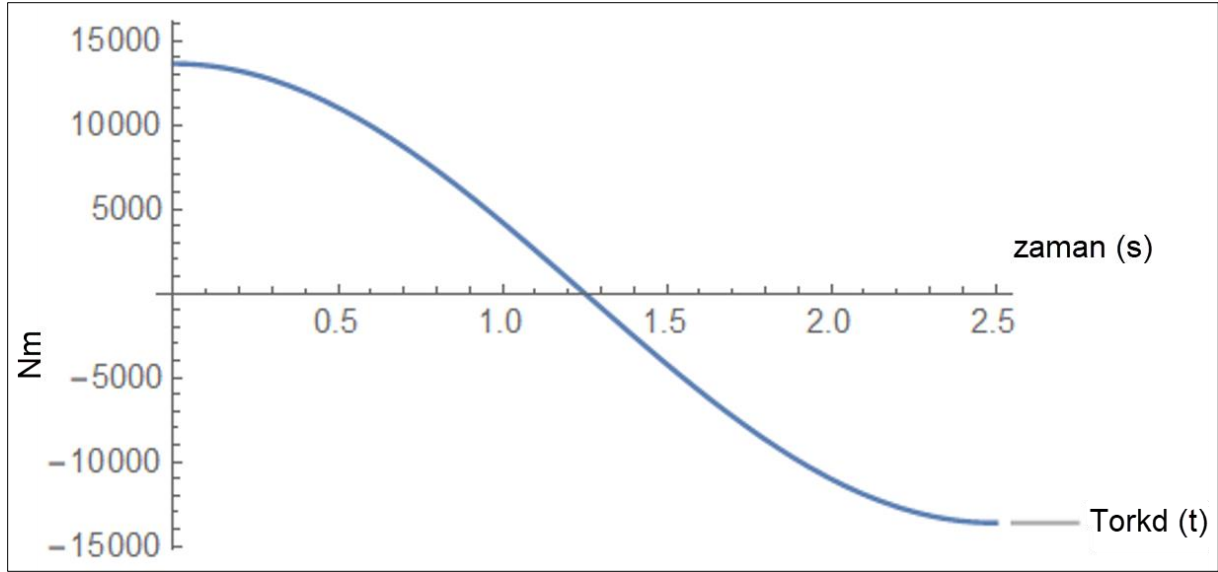
Şekil 3.88. Krank biyel mekanizmasının giriş kolunun açısal hızı.



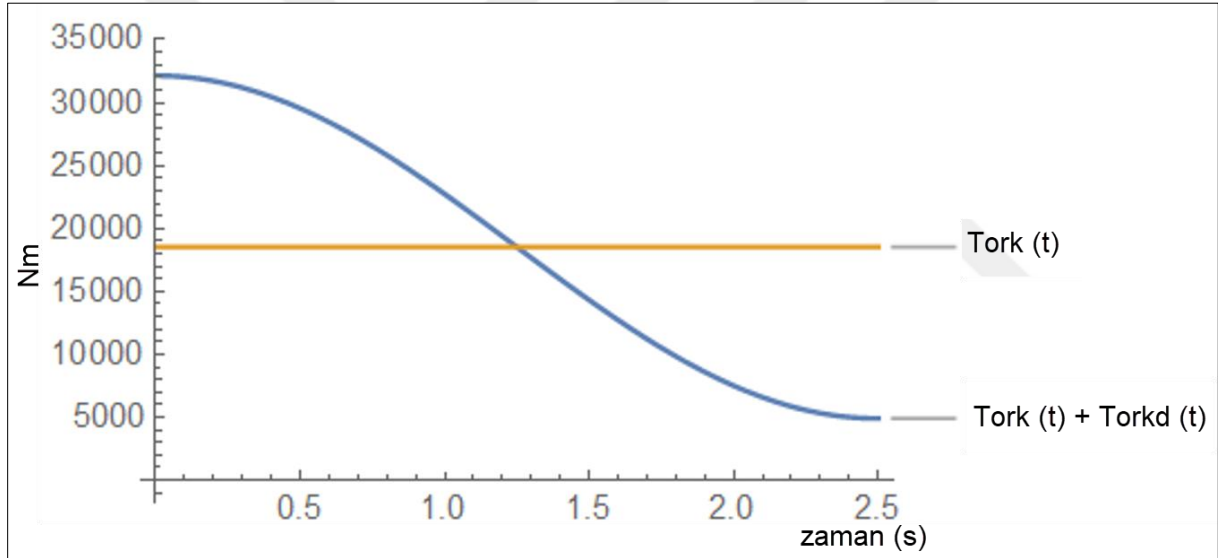
Şekil 3.89. Volan milinin açısal hız ve açısal ivme grafiği (α : r/s^2 , w : r/s)



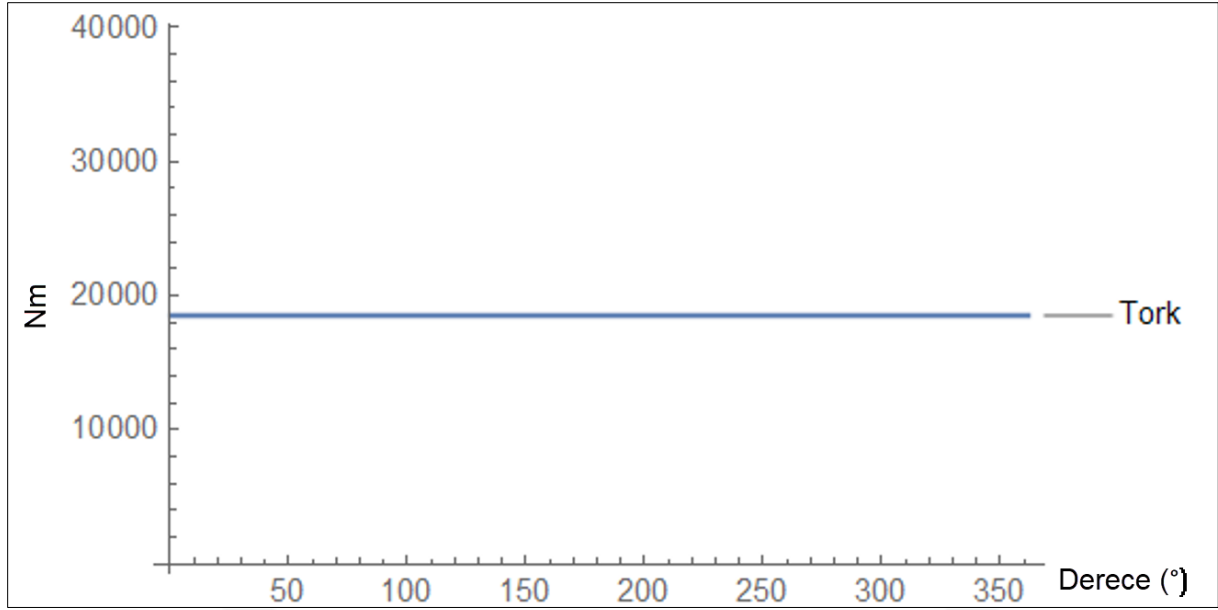
Şekil 3.90. Statik torkun zamana bağlı değişimi.



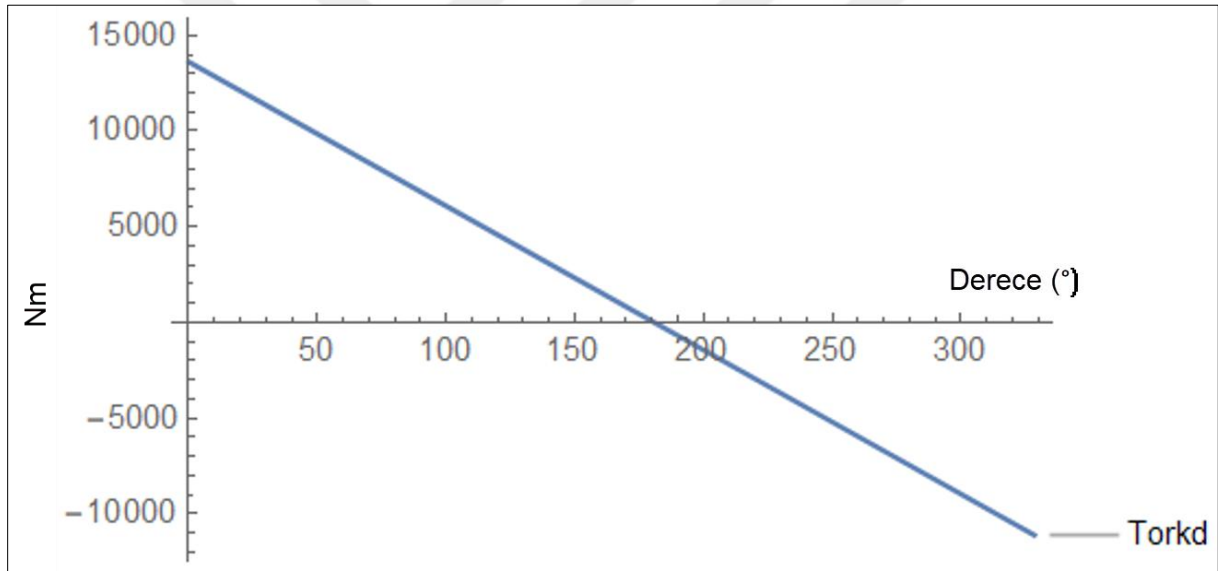
Şekil 3.91. Dinamik torkun zamana bağlı değişimi.



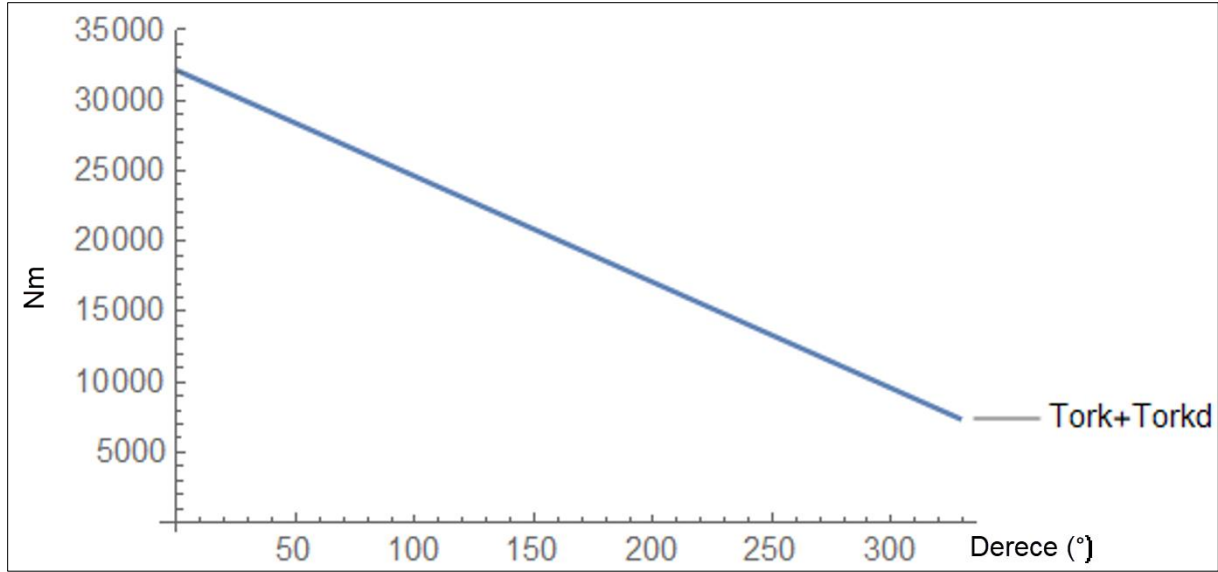
Şekil 3.92. Statik ve toplam (statik+dinamik) torkun zamana bağlı değişimi.



Şekil 3.93. Statik torkun giriş kolu açısı (Θ)'ya göre değişimi.



Şekil 3.94. Dinamik torkun giriş kolu açısı (Θ)'ya göre değişimi.



Şekil 3.95. Toplam torkun giriş kolu açısı (Θ)’ya göre değişimi.

Grafikler incelendiğinde mekanizma sisteminde dinamik etkiler ihmal edildiğinde 20 000 N-m lik sabit bir tork elde edilirken, ivmelerin etkisiyle değişken tork elde edilmektedir. Ancak toplam torkun ortalama değeri yine 20 000 Nm civarında olmaktadır. Bu tasarımda volan mili ortalama açısal hızı 1.5 r/s olduğunda, elde edilen güç ise yaklaşık 30 kW civarında olmaktadır.

3.6. Prototip İmalat ve Montaj Fotoğrafları

Şekil 3.96.’da dişli kutusu, miller ve hareket aksamının bileşenleri, Şekil 3.97.’de hareket aksamının montajının yapılacağı dişli kutusu, Şekil 3.98.’de yataklar, Şekil 3.99.’da volan Şekil 3.100.’de yüzer cisim, Şekil 3.101.’de Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) sisteminin imalat fotoğrafı ve Şekil 3.102.’de Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) sisteminin montaj fotoğrafı belirtilmektedir. Şekil 3.103.’de Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) sisteminin çalışma esnasında elektrik elde edilme durumundaki fotoğrafı, Şekil 3.104.’de Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) sisteminin volan ve alternatörünün fotoğrafı belirtilmektedir.



Şekil 3.96. Dişli kutusu, miller ve hareket aksamının bileşenleri



Şekil 3.97. Hareket aksamının montajının yapılacağı dişli kutusu



Şekil 3.98. Yataklar



Şekil 3.99. Volan



Şekil 3.100. Yüzer Cisim



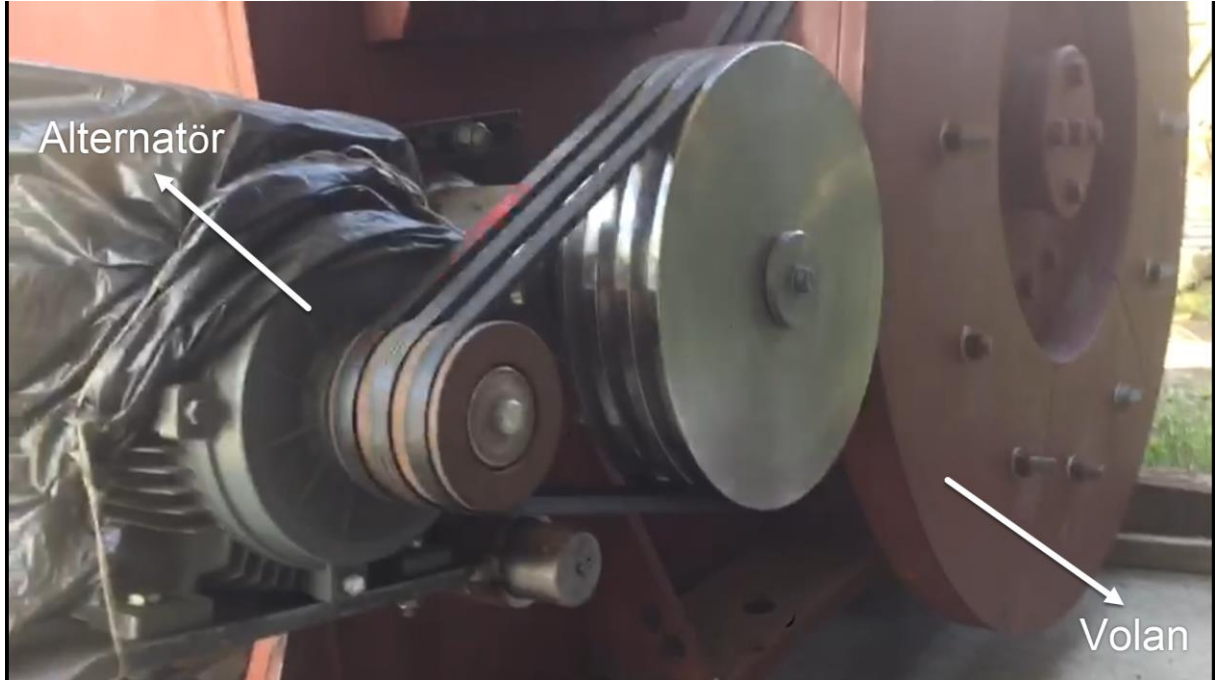
Şekil 3.101. Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) sisteminin imalat fotoğrafı.



Şekil 3.102. Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) sisteminin montaj fotoğrafı.



Şekil 3.103. Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) sisteminin çalışma esnasında elektrik elde edilme durumundaki fotoğrafı.

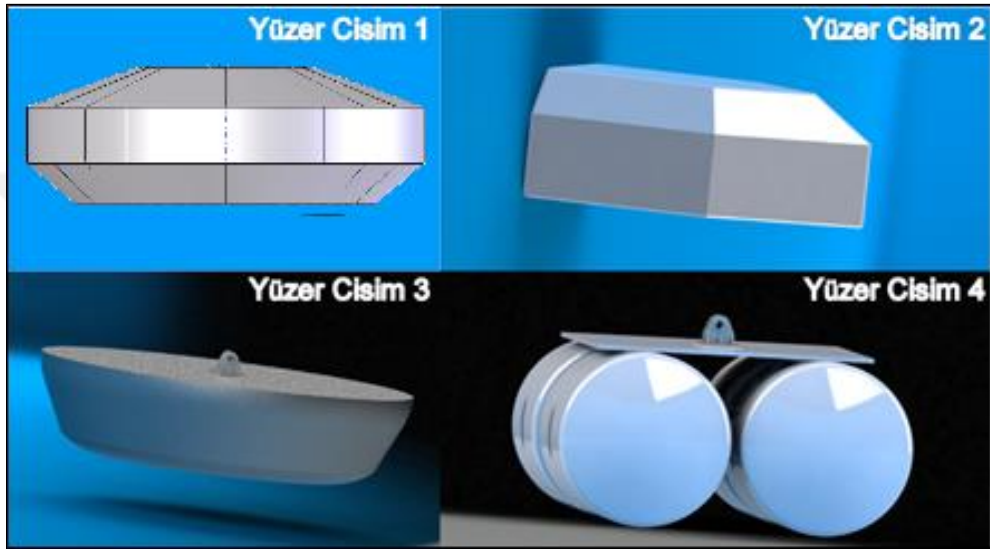


Şekil 3.104. Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) sisteminin volan ve alternatörünün fotoğrafı.

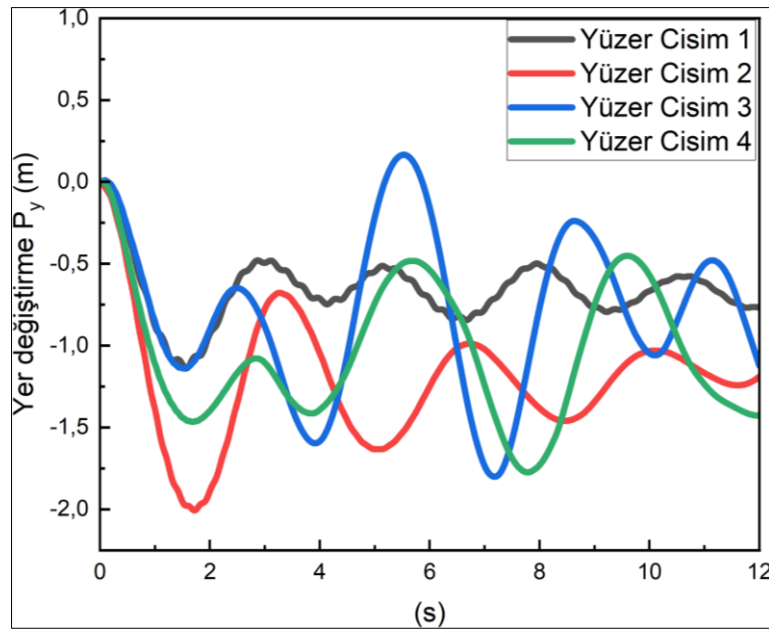
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin HAD Analiz Sonuçları

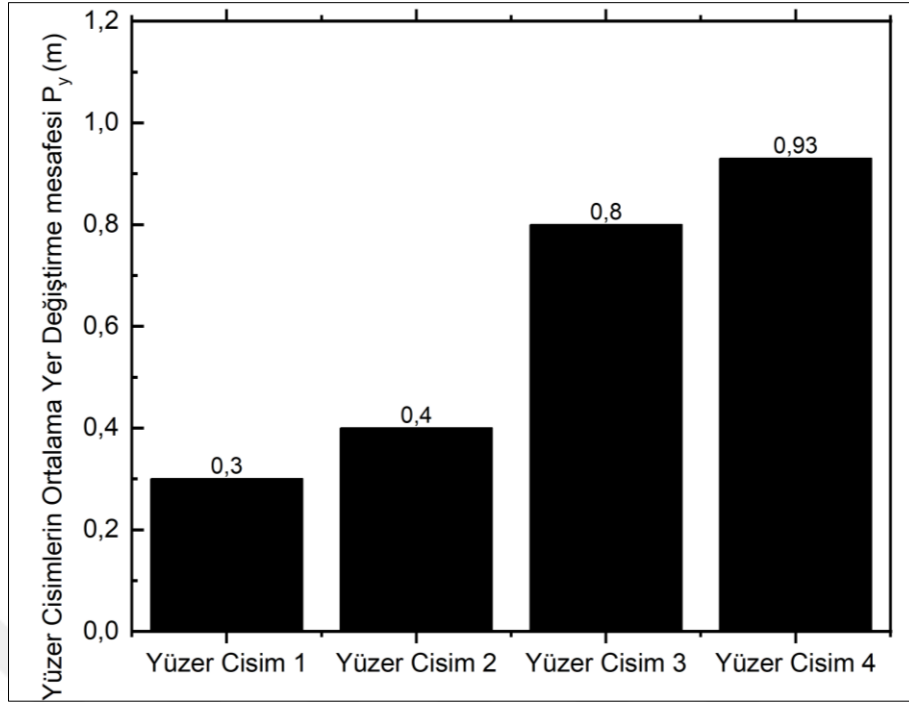
Bu çalışmada analizleri yapılmış olan Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) sistemine, Şekil 4.1’de belirtilen yüzer cisimler entegre edilmiştir. Bu yüzer cisimler ile analizi gerçekleştirilen sistemler Bilgisayar Destekli Dizayn (CAD: Computer Aided Design) yazılımı ile tasarlanmış olup, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımı ile HAD analizleri gerçekleştirilmiştir.



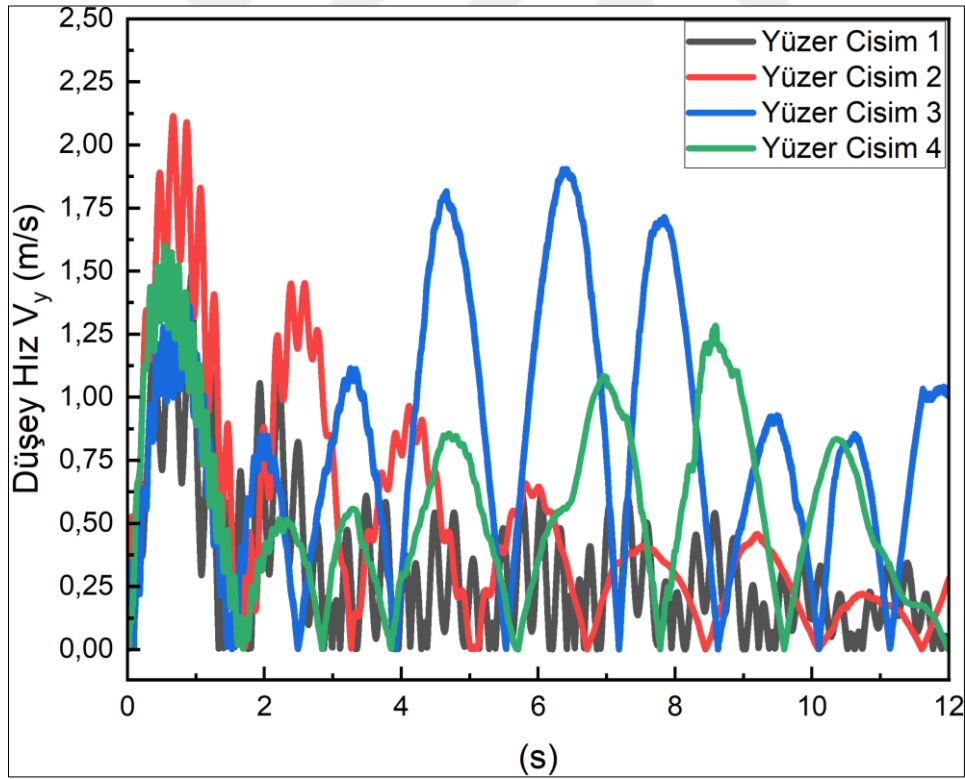
Şekil 4.1. Dalga Enerjisi Çevirici sisteme entegre edilen ve analizi gerçekleştirilen tüm yüzer cisimlerin Bilgisayar Destekli Dizayn programı ile gerçekleştirilen çizimlerinin gösterimi.



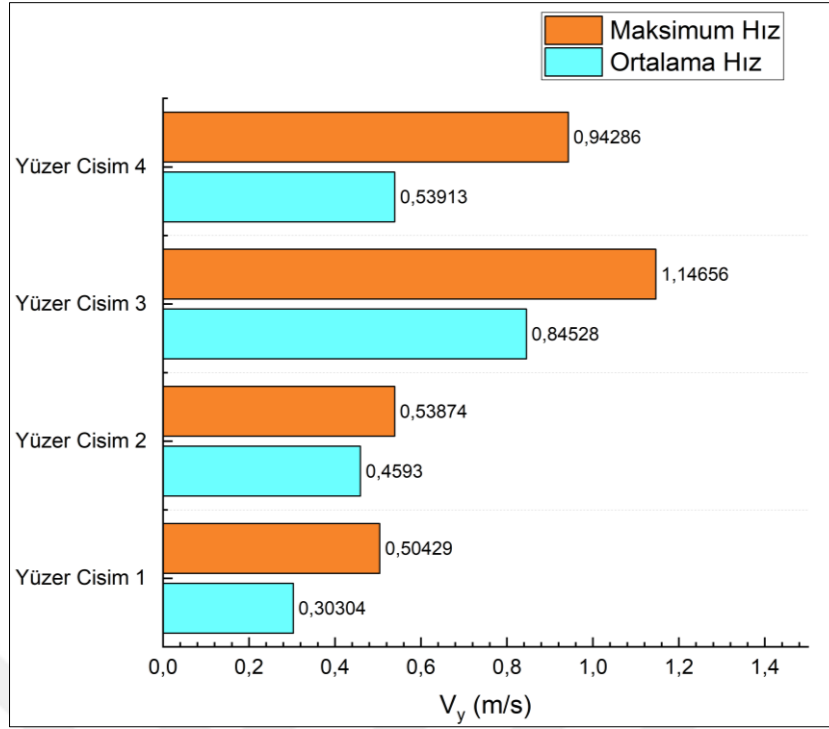
Şekil 4.2. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalga etkisi ile yer değiştirmesinin zamana bağlı gösterimi.



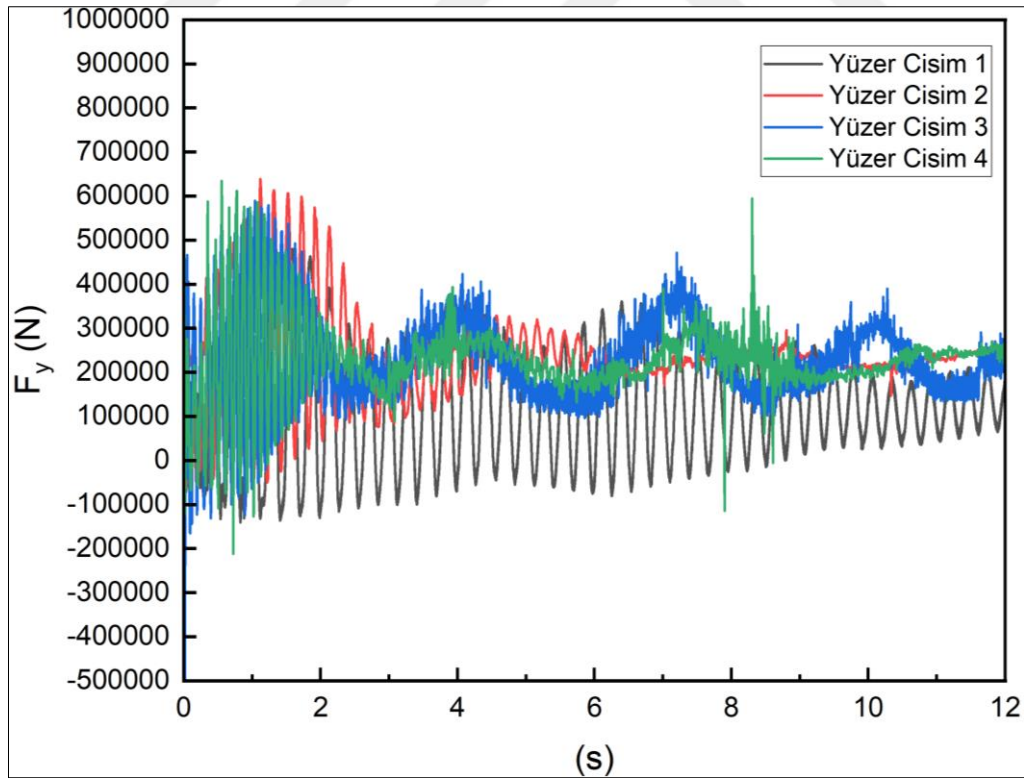
Şekil 4.3. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalga etkisi ile ortalama yer değiştirmesinin zamana bağlı gösterimi.



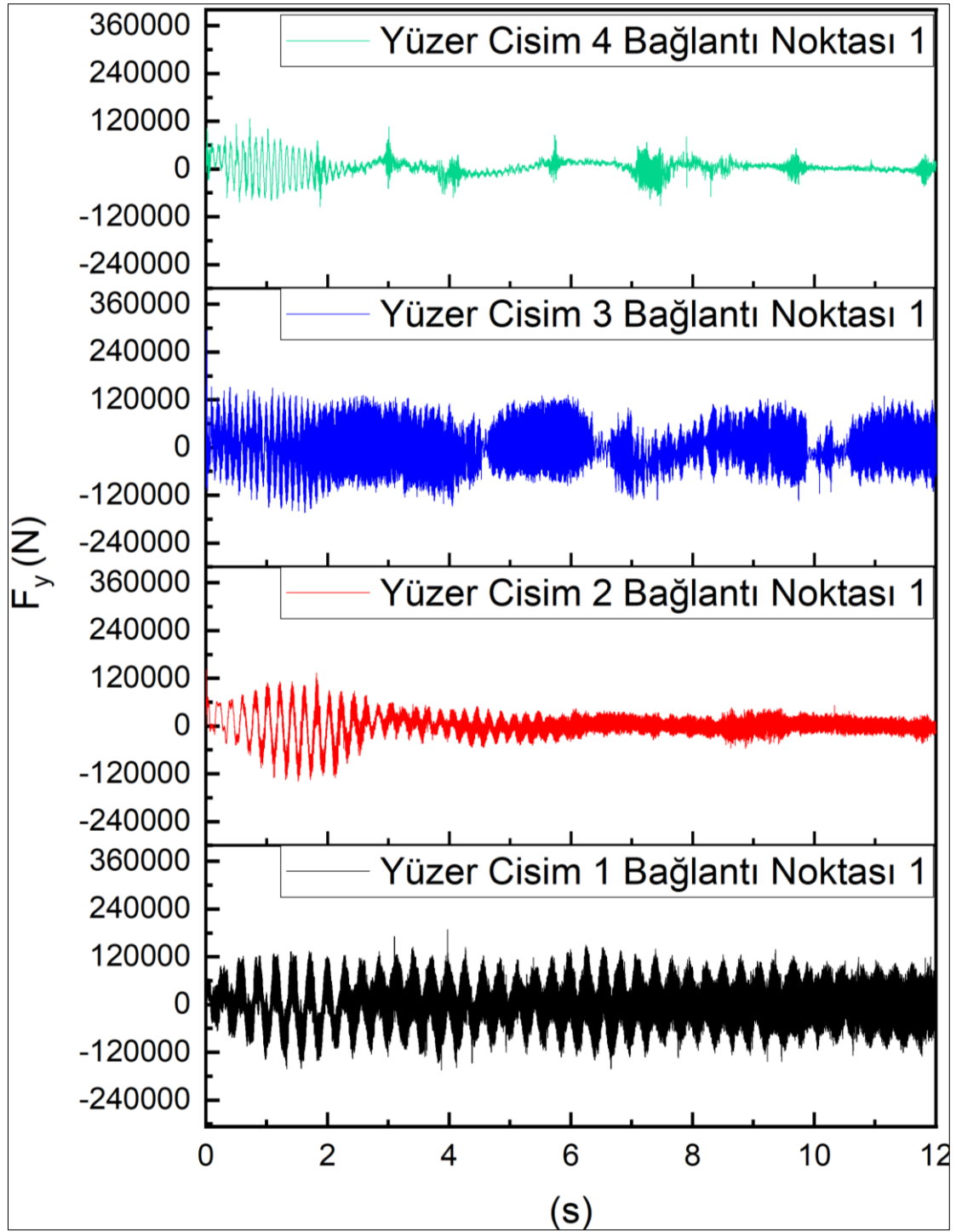
Şekil 4.4. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalga etkisi ile hız değişiminin zamana bağlı gösterimi.



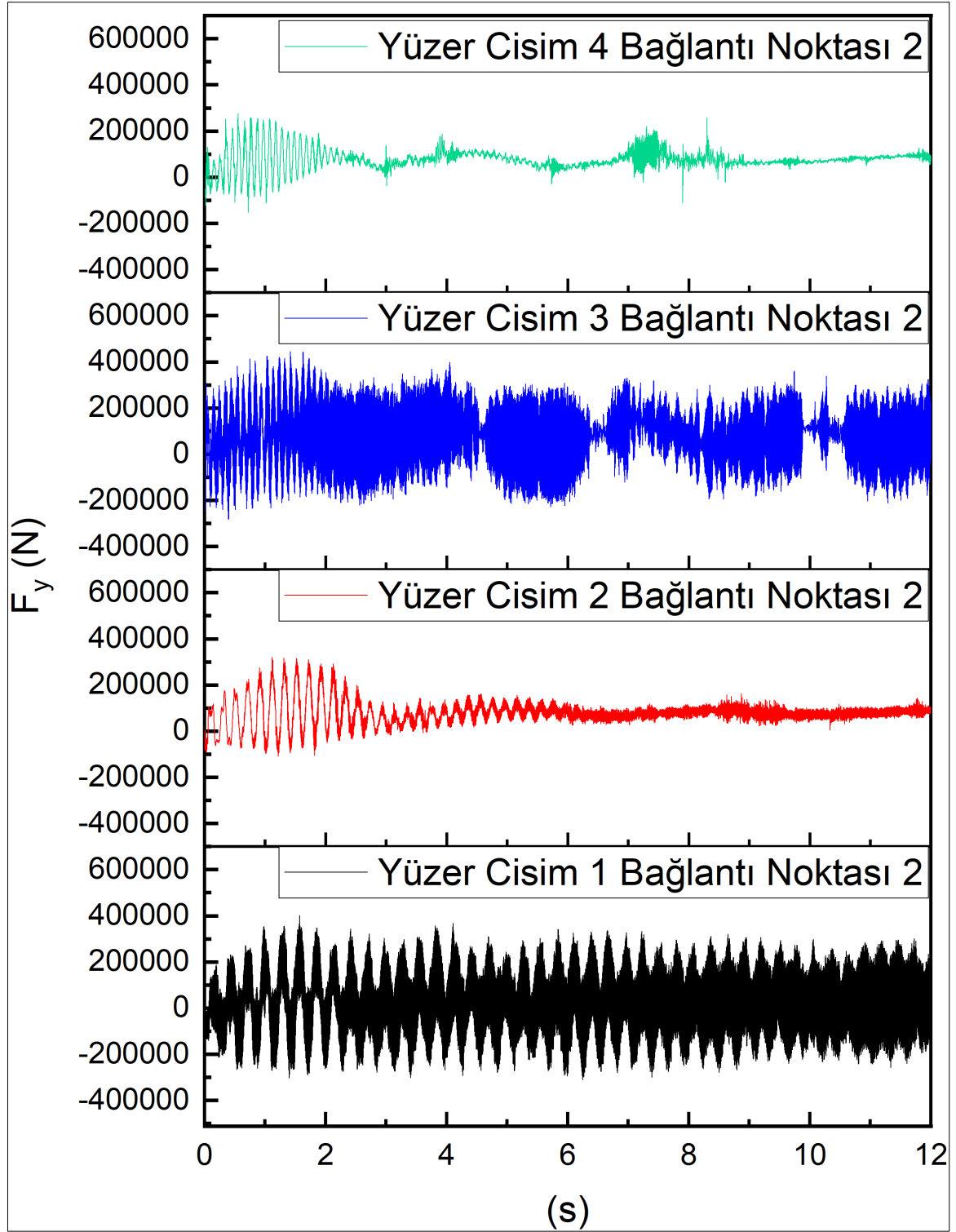
Şekil 4.5. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalga etkisi ile oluşan maksimum hız ortalaması ve ortalama hızlarının zamana bağlı gösterimi.



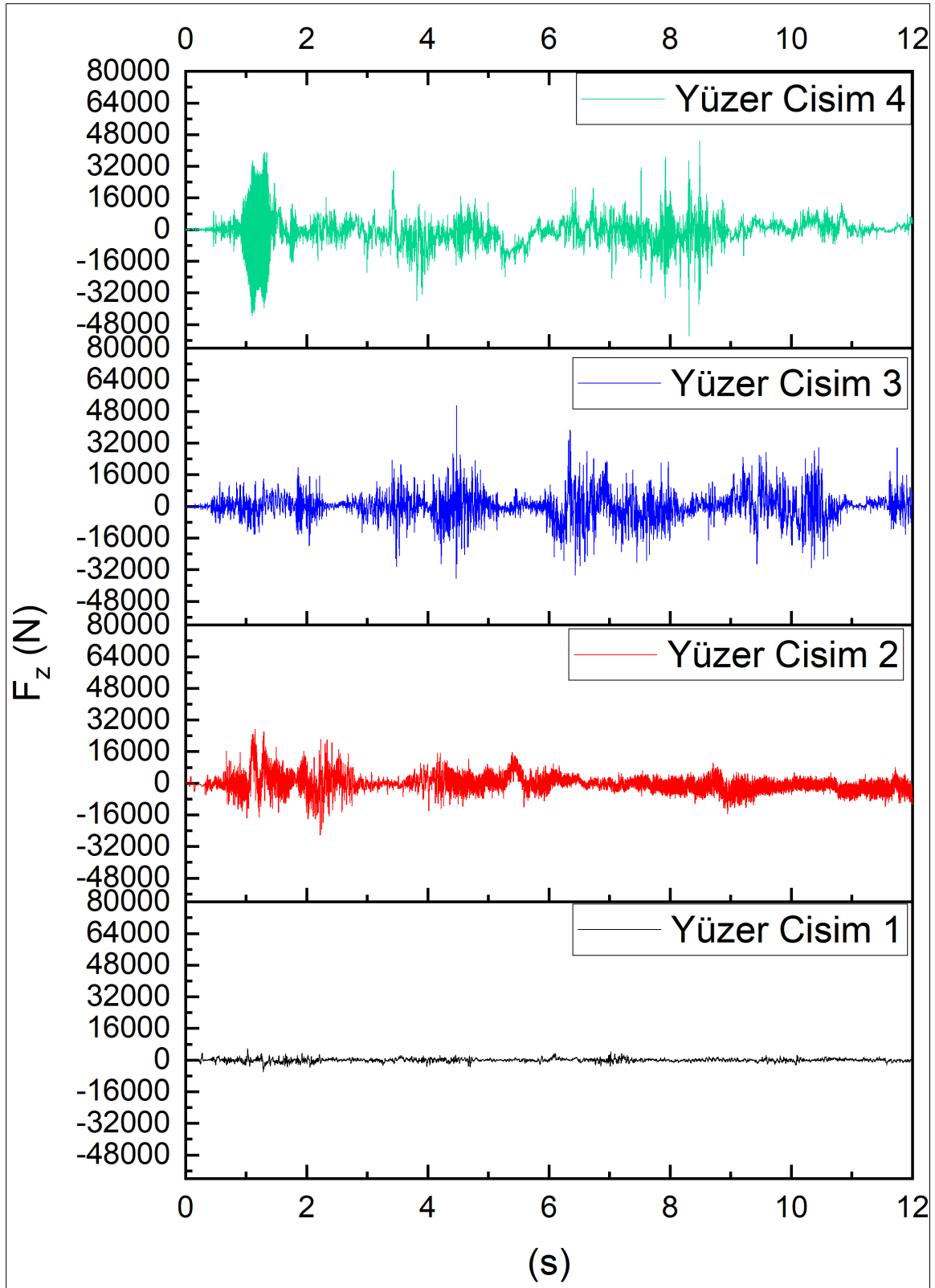
Şekil 4.6. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalga etkisi ile düşey kuvvetin zamana bağlı değişimin gösterimi.



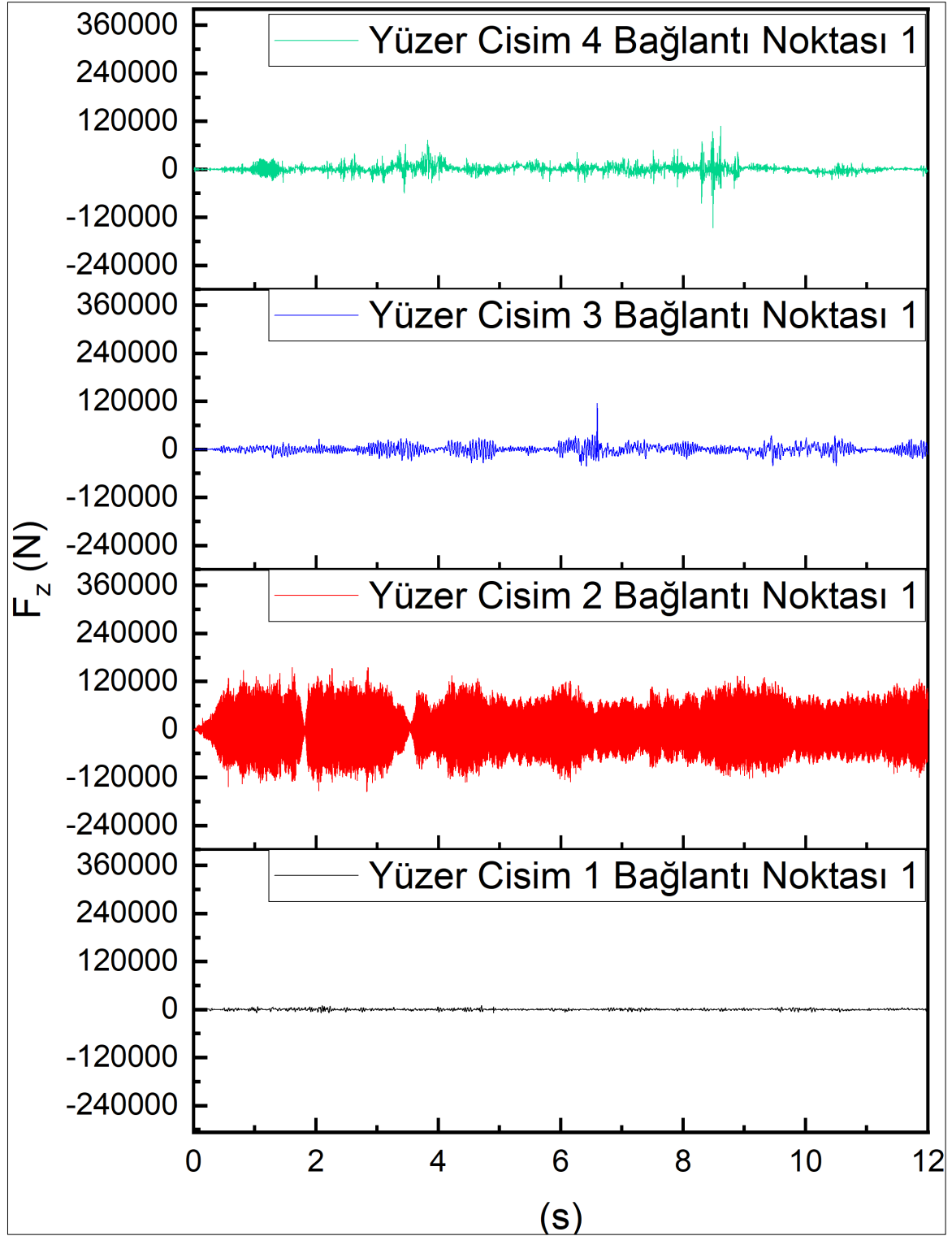
Şekil 4.7. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalga etkisi ile 1. Bağlantı noktasına y ekseninde etkiyen kuvvetin zamana bağlı değişimin gösterimi.



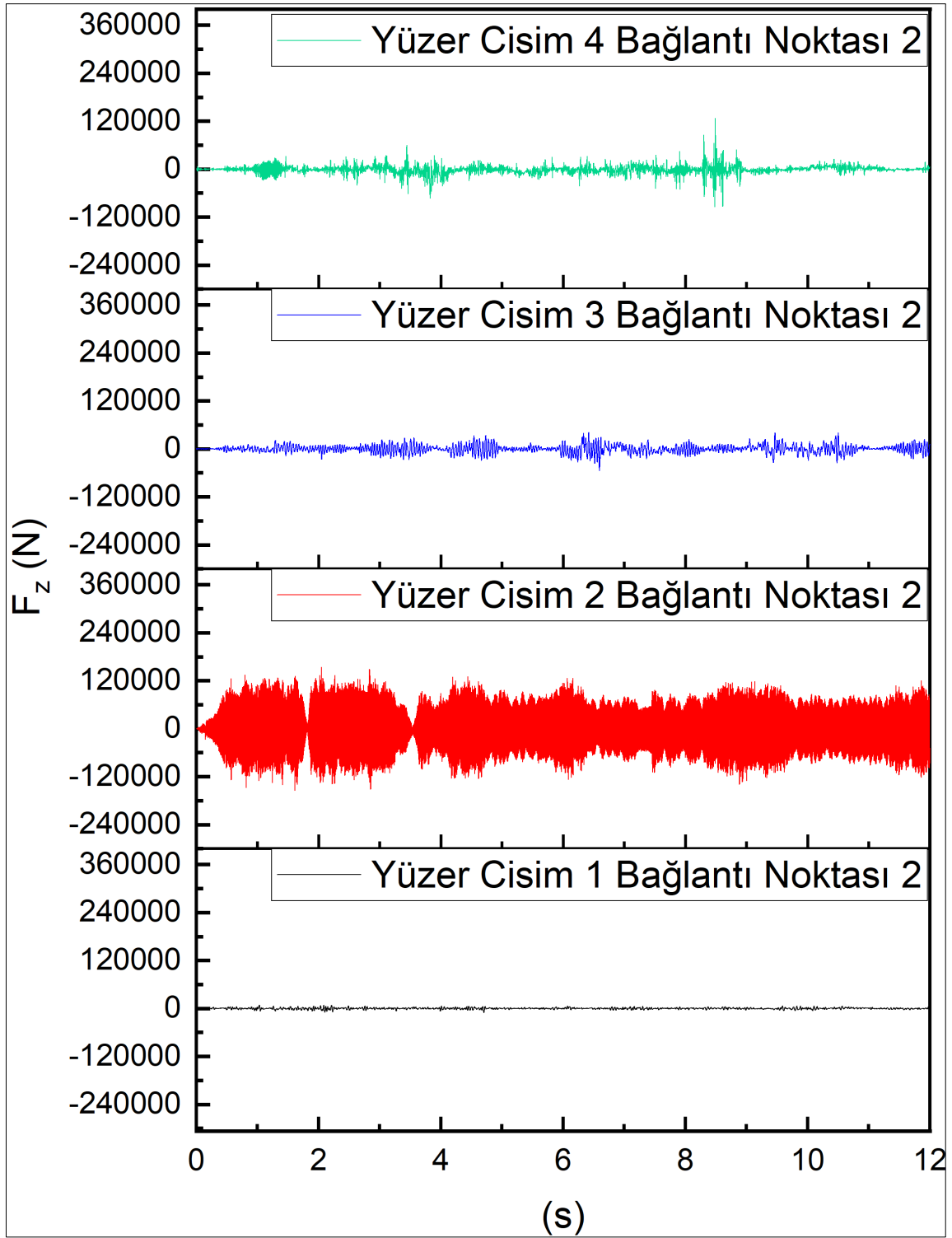
Şekil 4.8. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalga etkisi ile 2. Bağlantı noktasına y ekseninde etkiyen kuvvetin zamana bağlı değişimin gösterimi.



Şekil 4.9. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlere dalga etkisi ile z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana bağlı değişiminin gösterimi.

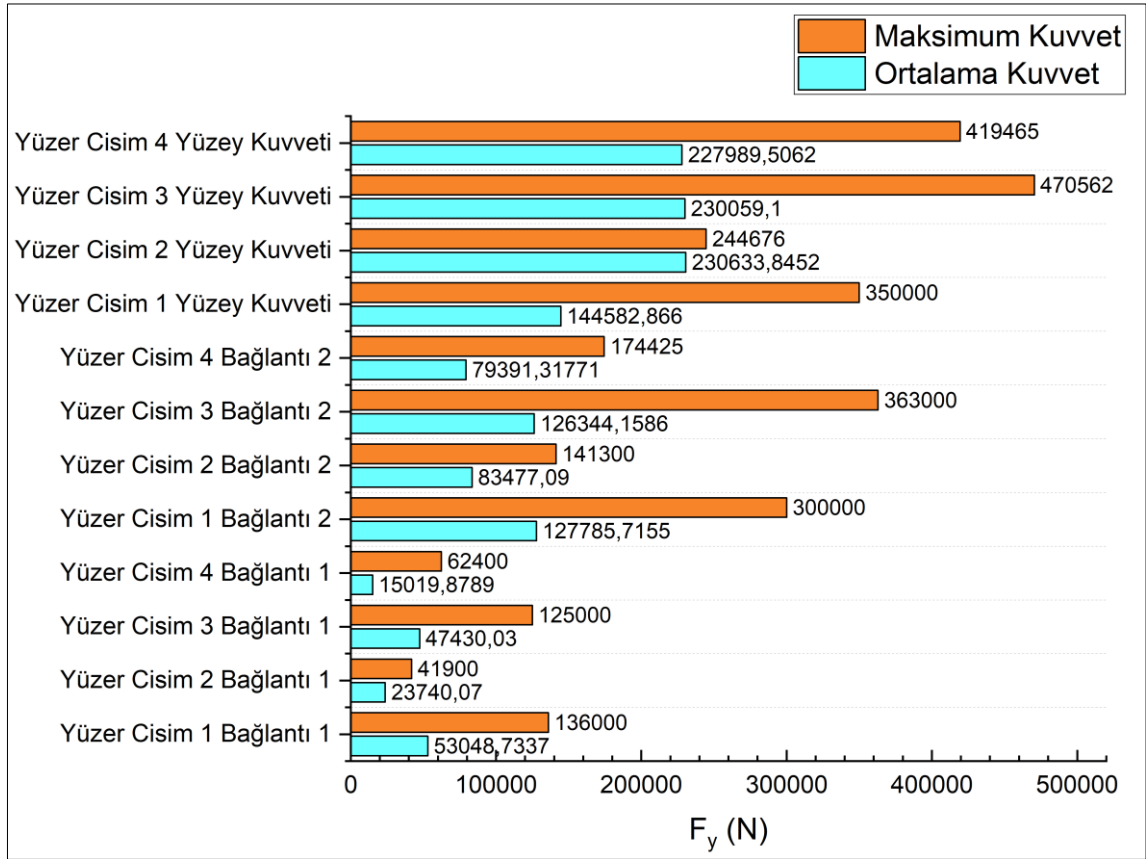


Şekil 4.10. Dalgı Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalgı etkisi ile 1. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana bağılı değışiminin gösterimi.

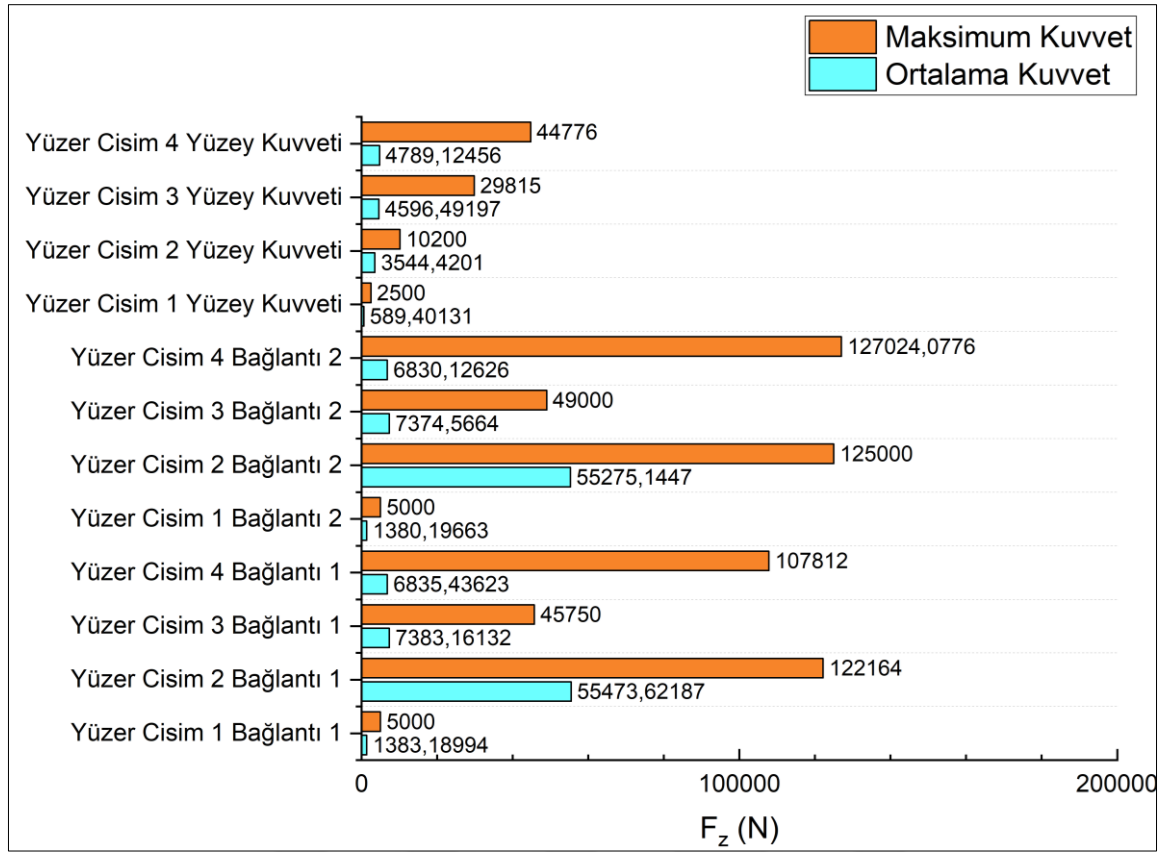


Şekil 4.11. Dalga Enerjisi Çevirici Sistemin, farklı duba geometrileri ile yapılan HAD analiz sonuçlarına göre yüzer cisimlerin dalga etkisi ile 2. Bağlantı noktasına z ekseninde etkiyen kuvvetin zamana bağlı değişiminin gösterimi.

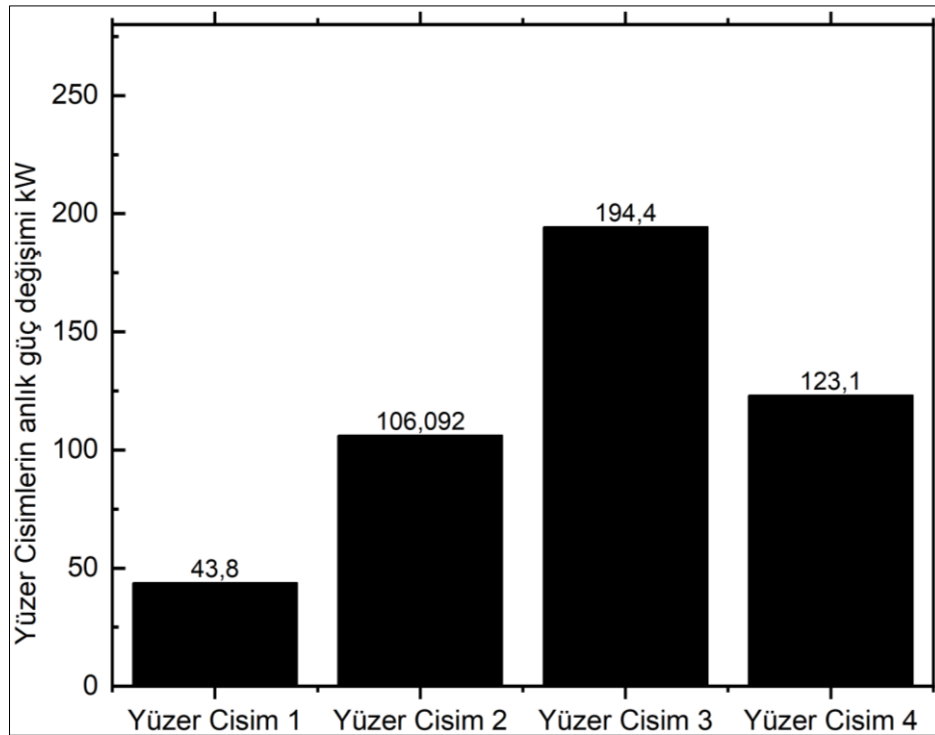
4.2. Yüzer Cisim ve Bağlantı Noktalarına etkiyen kuvvetler



Şekil 4.12. Yüzer cisimlerin Dalga Enerjisi Çevirici sisteme entegre edildiği tasarım şartlarında, yüzer cisimlere ve bağlantı noktalarına y ekseninde etkiyen ortalama ve maksimum kuvvetlerin gösterimi.



Şekil 4.13. Yüzer cisimlerin Dalga Enerjisi Çevirici sisteme entegre edildiği tasarım şartlarında, yüzer cisimlere ve bağlantı noktalarına z ekseninde etkiyen ortalama ve maksimum kuvvetlerin gösterimi.



Şekil 4.14. Yüzer cisimlerin anlık güç değişim aralığı.

Şekil 4.14.'te yüzer cisimlerin anlık güç değişim aralığı belirtilmiştir. Bu güç değerleri, yüzer cisimlere y ekseninde etkiyen ortalama kuvvet ile ortalama hızın çarpımı ile elde edilmiştir.



5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, HAD analizlerinde, yüzer cisimlerin yer değiştirme mesafesi kıyaslaması yapılmıştır. Yer değiştirme mesafesi en düşük olan Yüzer Cisim 1 isimli yüzer cisim olmasına rağmen sabit frekansta elektrik üretimi elde edilmek istendiği için Yüzer Cisim 1'in, daha stabil bir düşey yer değiştirme hareketi sağlaması, sistemde kullanımı yer değiştirme parametresi için uygundur.

Yüzer Cisim 4, ortalama hızı en yüksek yüzer cisim olarak görülmektedir.

Yüzer Cisim 1'e, y ekseninde en az kuvvetin etki ettiği belirlenmiştir. Bağlantı noktaları açısından ise y ve z eksenleri için tüm sistemlerin kullanımının emniyet sınırlarında olduğu belirlenmektedir.

Yüzer cisimlerin anlık güç değişim aralığı grafiğinde en yüksek anlık güç değişiminin Yüzer Cisim 3'te görüldüğü gözlemlenmektedir.

Statik yükler dikkate alınarak DEÇ sisteminin bileşenlerinin tasarlanabilmesi için bilgisayar simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Gerçek kurulumda yüzer cisim hareketindeki belirsizlikler ve güvenlik faktörleri varsayılarak ele alınmıştır.

Yapısal analizler, Yüzer Cisim 1, Yüzer Cisim 2, Yüzer Cisim 3 ve Yüzer cisim 4 için sistem tasarımının emniyetli olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, kinematik sentez, bilgisayar destekli tasarım, bilgisayar destekli yapısal analiz ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemlerinin birlikte uygulandığı bir prototip geliştirme yaklaşımının dalga enerjisi çevirici araştırma geliştirme çalışmaları için uygun olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak kıyıya yakın denizlerde kullanılmak üzere dalga enerjisini elektrik enerjisine çeviren özgün bir Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) sistemi bu çalışmada ortaya konmuştur. Sistemin uygun deniz kıyılarına konularak denenmesi sonrasında elde edilen ölçüm ve gözlemler ışığında iyileştirilmesi sonrasında ülke ekonomisine katma değer üreteceği söylenebilir.

Gelecekteki çalışmalarda, farklı ülkelerin daha yüksek dalga yüksekliği ve frekans değerleri için analizler gerçekleştirilip tasarım farklılıklarına gidilebilecektir. Duba geometrisi, volan boyutları, mekanizma ve dişli boyutları farklı coğrafyalardaki deniz dalgası parametrelerine göre uyarlanabilecektir. Ülkemiz ve dünyada bu alanda yapılan çalışmalara olan ihtiyaç arttıkça, araştırma geliştirme imkanları arttıkça Dalga Enerjisi Çevirici (DEÇ) sistemlerin kullanımı başlayacak ve/veya yaygınlaşacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdollahzadeh moradi, Y. (2018). Dalga Enerjisi Potansiyelinin Makro ve Mikro Ölçekte Çıkarılması. İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul.
- Amarasekara, K., Abeynayake, G., Fernando, M., Arulampalam, A., Uyanwaththa, D. M. A. R., Gunawardane, P., and Cooray, V. (2014). A prefeasibility study on ocean wave power generation for the southern coast of Sri Lanka: Electrical feasibility. *International Journal of Distributed Energy Resources and Smart Grids*, 10, 79–93.
- Anaconda Wave Energy Converter Concept. (2022). 1 Aralık 2022 tarihinde <https://energy.soton.ac.uk/anaconda-wave-energy-converter-concept/> adresinden erişildi.
- Asghar, Z. (2008). Energy–Gdp Relationship: A Causal Analysis For The Five Countries Of South Asia. *Applied Econometrics and International Development*, (8–1).
- Capturing the Ocean’s Energy. (2022). 10 Kasım 2022 tarihinde https://e360.yale.edu/features/capturing_the_oceans_energy adresinden erişildi.
- Elavarasan, R. M., Shafiullah, G. M., Padmanaban, S., Kumar, N. M., Annam, A., Vetrichelvan, A. M., and Holm-Nielsen, J. B. (2020). A Comprehensive Review on Renewable Energy Development, Challenges, and Policies of Leading Indian States With an International Perspective. *IEEE Access*, 8, 74432–74457. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988011>
- Ermakov, A., and Ringwood, J. V. (2021). Rotors for wave energy conversion—Practice and possibilities. *IET Renewable Power Generation*, 15(14), 3091–3108. Retrieved from <https://doi.org/10.1049/rpg2.12192>
- Estefen, S. F., Castello, X., Lourenço, M. I., and Rossetto, R. M. (2010a). Design analyses applied to a hyperbaric wave energy converter. *11th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, PRADS 2010*, 2(July), 1527–1536.
- Estefen, S. F., Castello, X., Lourenço, M. I., and Rossetto, R. M. (2010b). Design analyses applied to a hyperbaric wave energy converter. *11th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, PRADS 2010*, 2(July), 1527–1536.

- Falcão, A. F. de O. (2010). Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), 899–918. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.11.003>
- Han, J., Maeda, T., Itakura, H., and Kitazawa, D. (2022). Experimental study on the wave energy harvesting performance of a small suspension catamaran exploiting the maximum power point tracking approach. *Ocean Engineering*, 243, 110176. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.110176>
- Iglesias, G., López, M., Carballo, R., Castro, A., Fraguera, J. A., and Frigaard, P. (2009). Wave energy potential in Galicia (NW Spain). *Renewable Energy*, 34(11), 2323–2333. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.03.030>
- IRENA and Ocean Energy Europe Partner to Drive Ocean Energy Industry. (2022). 10 Eylül 2022 tarihinde <https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2020/Dec/IRENA-and-Ocean-Energy-Europe-Partner-to-Drive-Ocean-Energy-Industry> adresinden erişildi.
- Kapluhan, E. (2014). ENERJİ Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: BiyokütEnerjisininDünyadaki Ve Türkiye Deki Kullanım Durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 0(30), 65–86. Retrieved from <https://doi.org/10.14781/mcd.98631>
- Koca, K., Kortenhaus, A., Oumeraci, H., Zanuttigh, B., Angelelli, E., Cantù, M., and Franceschi, G. (2013). Recent Advances in the Development of Wave Energy Converters.
- Leishman, J. M., and Scobie, G. (1978). The Development of Wave Power: A Techno-economic Study. Economic Assessment Unit, National Engineering Laboratory, Department of Industry. Retrieved from <https://books.google.com.tr/books?id=OaPmQEACAAJ>
- López, I., Andreu, J., Ceballos, S., Martínez de Alegría, I., and Kortabarria, I. (2013). Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 413–434. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.009>
- Mayon, R., Ning, D., Zhang, C., Chen, L., and Wang, R. (2021). Wave energy capture by an omnidirectional point sink oscillating water column system. *Applied Energy*, 304, 117795. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117795>

- McCormick, M. E. (1981). Ocean Wave Energy Conversion; Courier Corporation. North Chelmsford, ABD.
- Mollaghan, D., O’Sullivan, D., Blavette, A., Cashman, D., Alcorn, R., Egan, M. G., and Lewis, A. (2010). Generic Dynamic Modelling for Grid Integration of Ocean Energy Devices.
- Momete, D. C. (2018). Analysis of the Potential of Clean Energy Deployment in the European Union. IEEE Access, 6, 54811–54822. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2872786>
- Ocean Energy Systems. (2018). Spotlight on ocean energy, 36.
- O’Connor, M., Lewis, T., and Dalton, G. (2013). Techno-economic performance of the Pelamis P1 and Wavestar at different ratings and various locations in Europe. Renewable Energy, 50, 889–900. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.08.009>
- Okyanuslardan Gelen Enerji (Dalga Enerjisi). (2022). 10 Ekim 2022 tarihinde <http://www.sureyelken.com/etiket/okyanus/> adresinden erişildi.
- Oscillating Wave Surge Converter. (2022). 18 Ekim 2022 tarihinde <https://tethys-engineering.pnnl.gov/technology/oscillating-wave-surge-converter> adresinden erişildi.
- Parmeggiani, S., Kofoed, J., and Friis-Madsen, E. (2013). Experimental Study Related to the Mooring Design for the 1.5 MW Wave Dragon WEC Demonstrator at DanWEC. Energies, 6, 1863–1886. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/en6041863>
- PB3 PowerBuoy. (2022). 14 Eylül 2022 tarihinde <https://oceanpowertechnologies.com/pb3-powerbuoy/> adresinden erişildi.
- Pelamis Wave Power. (2022). 20 Haziran 2022 tarihinde <https://www.emec.org.uk/about-us/wave-clients/pelamis-wave-power/> adresinden erişildi.
- Pozzi, N., Bracco, G., Passione, B., Sirigu Sergej, A., Giacomo, V., Mattiazzo, G., and Sannino, G. (2017). Wave Tank Testing of a Pendulum Wave Energy Converter 1:12 Scale Model. International Journal of Applied Mechanics (Vol. 9). Retrieved from <https://doi.org/10.1142/S1758825117500247>
- Ribeiro, A. S., deCastro, M., Costoya, X., Rusu, L., Dias, J. M., and Gomez-Gesteira, M. (2021). A Delphi method to classify wave energy resource for the 21st century: Application to the NW

- Iberian Peninsula. Energy, 235, 121396. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121396>
- Rizzi, F., van Eck, N. J., and Frey, M. (2014). The production of scientific knowledge on renewable energies: Worldwide trends, dynamics and challenges and implications for management. Renewable Energy, 62, 657–671. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.08.030>
- Sağlam, M., and Uyar, T. S. (2004). Türk suları için Dalga Enerjisi Örnek Proje Fizibilite Çalışması, 1–6.
- Sağlam, M., and Uyar, T. S. (2010). Wave Energy And Technical Potential of Turkey, Journal of Naval Science and Engineering 2010, Vol. 6 , No.2, pp. 34-50.
- Seabased scores 40MW Caribbean wave energy deal. (2022). 6 Kasım 2022 tarihinde <https://marineenergy.biz/2018/05/14/seabased-scores-40mw-caribbean-wave-energy-deal/> adresinden erişildi.
- SINN Power Investigates Caribbean Wave Energy Potential. (2019). 10 Ocak 2022 tarihinde <https://subseaworldnews.com/2018/12/27/sinn-power-investigates-caribbean-wave-energy-potential/> adresinden erişildi.
- Tapered Channel Wave Energy. (2022). 10 Mart 2022 tarihinde <https://taperedchannelwaveenergy.weebly.com/> adresinden erişildi.
- The Reedsport Wave Power Station Project. (2022). 22 Temmuz 2022 tarihinde <https://www.power-technology.com/projects/reedsportwavepowerst/> adresinden erişildi.
- Ün, Ü. T. (2001). Dalga Enerjisi Teknolojisi, Ekonomisi, Çevresel Etkisi ve Dünyadaki Durumu. Http://Www.Emo.Org.Tr/Ekler/6a781dbfd8e524b_ek.Pdf, 1–9.
- Ursell, F. (1981). Power from Sea Waves. Edited by B. COUNT. Academic Press, 1980. 449 pp. Journal of Fluid Mechanics, 112, 498–499. Retrieved from <https://doi.org/10.1017/S0022112081210554>
- Wave Devices. (2022). 24 Mayıs 2022 tarihinde <https://www.emec.org.uk/marine-energy/wave-devices/> adresinden erişildi.
- Wave Measurement. (2022). 12 Haziran 2022 tarihinde https://cdip.ucsd.edu/m/documents/wave_measurement.html#:~:text=Crest%20%2D%20The

%20highest%20point%20on,between%20successive%20crests%20or%20troughs. adresinden erişildi.

Xiao, H., Liu, Z., Zhang, R., Kelham, A., Xu, X., and Wang, X. (2021). Study of a novel rotational speed amplified dual turbine wheel wave energy converter. *Applied Energy*, 301, 117423.

Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117423>



ÖZGEÇMİŞ



