T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE BALIK KAFESLERİNİN KATI SIVI ETKİLEŞİM ANALİZİ

Mehmet Emin ÖZDEMİR

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Murat YAYLACI
JÜRİ ÜYELERİ
Doç. Dr. İlker USTABAŞ
Dr. Öğr. Üyesi Hasan ÖLMEZ

RİZE - 2021
Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE BALIK KAFESLERİNİN KATI SIVI ETKİLEŞİM ANALİZİ

Doç. Dr. Murat YAYLACI danışmanlığında, Mehmet Emin ÖZDEMİR tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararı ile oluşturulan jüri tarafından 15/06/2021 tarihinde İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri		**Unvanı, Adı Soyadı**	**İmza**
Başkan	:	Doç. Dr. İlker USTABAŞ	
Üye	:	Doç. Dr. Murat YAYLACI	
Üye	:	Dr. Öğr. Üyesi Hasan ÖLMEZ	

Doç. Dr. Ahmet YANIK
ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile balık kafeslerinin katı sıvı etkileşim analizi konulu tez yapısal çalışmasında Sonlu Elemanlar Yöntemi yardımıyla modellemeler yapılarak statik ve dinamik analizler gerçekleştirildi.

Yüksek lisans tez çalışmamda planlamada, hazırlamada, araştırmada ve bu araştırmaların bilimsel nitelik kazanmasında yardımcı olan, bilgi birikimi ve tecrübesiyle her sorunumda sabırlı bir şekilde yol gösteren Sayın Hocam Doç. Dr. Murat YAYLACI'ya sonsuz saygı ve minnetlerimi sunarım.

Eğitim-öğretim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, girdiğim her yolda bana akıl hocalığı yapan ve işlerimi her daim kolaylaştıran başta babam Hüseyin ÖZDEMİR ve annem Ayşe ÖZDEMİR'e teşekkürü borç bilirim.

Mehmet Emin ÖZDEMİR

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan "Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Balık Kafeslerinin Katı Sıvı Etkileşim Analizi" başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 15/06/2021

Mehmet Emin ÖZDEMİR

Uyarı: *Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.*

ÖZET

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE BALIK KAFESLERİNİN KATI SIVI ETKİLEŞİM ANALİZİ

Mehmet Emin ÖZDEMİR

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışmanı: Doç. Dr. Murat YAYLACI

Kültür balıkçılığı uzun sürelerden bu yana gerek ülkemizde gerekse dünyada yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Okyanuslarda ve denizlerde yıllardır süre gelen düzensiz avlanmalar sebebiyle balık popülasyonlarında azalmalar meydana gelmiştir. Mevcut balık popülasyonlarının kaybolmaması adına bu alanda söz sahibi otoriteler av sezonlarına ve av sahalarına ciddi kısıtlamalar getirmiştir. Bu durumda oluşan ürün boşluğunu doldurmak için balıkçılıkla ilgilenen firmalar kültür balıkçılığına yönelmektedirler. Devam eden süreçte kültür balıkçılığı büyüyen bir trende sahip olup halihazırda kullanılan çiftlikler genişletilmeye, sistemlerde kullanılacak olan kafeslerinde çapları ve derinlikleri daha fazla ürün elde etmek adına arttırılmaktadır. Ne yazık ki bu sistemlerin kullanılması için gerekli çevresel ortamlar her zaman sağlanamamaktadır. Bu nedenle kullanılacak olan kafes sistemlerinin çevresel faktörlerden etkilenerek zarar görme ihtimalleri artmaktadır. Sistemler zarar gördükleri takdirde işletmeci için maddi zarar meyadana gelecek ve yatırımları tehlikeye girecektir. Böylesi olumsuz durumlarla karşılaşmamak için kafes sistemin elemanlarına etki edecek çevresel faktörler olan dalgalar, akıntı, rüzgar vb. etkiler iyi analiz edilmeli ve bağlama sisteminin tasarımları bu analizlere göre yapılmalıdır. Bu çalışmada kültür balıkçılığında kullanılan kafes sistemleri ve bu kafes sistemlerini stabil halde tutmak için kullanılan Mooring (bağlama) sistemleri üzerine etkiyen yükler sonlu elemanlar metoduyla çalışan ANSYS Workbench programı üzerinden simüle edilerek bahsi geçen yüklerin sistem üzerinde oluşturabilecekleri deformasyonlar analiz edilmeye çalışılmıştır. Böylelikle tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken hususlar belirlenip şema ve grafikler halinde gösterilerek tasarımcıların ve yatırımcıların fikir sahibi olması amaçlanmıştır.

2021, 54 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sonlu Elemanlar Yöntemi, Kafes Sistem, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

ABSTRACT

SOLID LIQUID INTERACTION ANALYSIS OF FISH CAGES BY FINITE ELEMENT METHOD

Mehmet Emin ÖZDEMİR

Recep Tayyip Erdogan University
Graduate Education Institute
Department of Civil Engineering
Master Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Murat YAYLACI

Aquaculture is a method that has been widely used both in our country and in the world for a long time. Fish populations have decreased due to irregular fishing in the oceans and seas for years. In order to prevent the loss of existing fish populations, the authorities in this field have imposed serious restrictions on fishing seasons and hunting grounds. In this case, in order to fill the product gap that occurs, companies dealing with fisheries turn to aquaculture. In the ongoing process, aquaculture has a growing trend and the currently used farms are expanded and the diameters and depths of the cages to be used in the systems are increased in order to obtain more products. Unfortunately, the environmental conditions required for the use of these systems cannot always be provided. For this reason, the cage systems to be used are more likely to be damaged by environmental factors. If the systems are damaged, financial damage will occur for the operator and their investments will be endangered. In order to avoid such unfavorable situations, environmental factors such as waves, currents, and wind that will affect the elements of the cage system should be analyzed well and the designs of the mooring system should be made according to these analyzes. In this study, the loads acting on the cage systems used in aquaculture and the Mooring systems used to keep these cage systems stable are simulated with ANSYS Workbench program, which works with the finite element method, and the deformations that the said loads can create on the system are tried to be analyzed. In this way, it is aimed that designers and investors have an idea by determining the points to be considered in the design phase and showing them in diagrams and graphics.

2021, 54 pages

Keywords: Finite Element Method, Cage Systems, Computatioanal Fluid Dynamics

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ II
ÖZET III
ABSTRACT IV
İÇİNDEKİLER V
ŞEKİLLER DİZİNİ VII
TABLOLAR DİZİNİ IX
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ X
1. GENEL BİLGİLER 1
1.1. Giriş 1
1.2. Literatür Özeti 2
1.3. Mooring Sistem 10
1.4. Mooring Sistem Elemanları 11
1.4.1. Halatlar 11
1.4.2. Şamandıralar 12
1.4.3. Çapalar 12
1.5. Mooring Sistemin Avantajları ve Dezavantajları 13
1.6. Mooring Sistem Tasarımı 13
1.7. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 15
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR 16
2.1. Geometrilerin Tanımı ve Oluşturulması 16
2.1.1. Ağ Elemanının Geometrisinin Oluşturulması 16
2.1.2. Yüzdürme Elemanının Geometrisinin Oluşturulması 17
2.2. Geometrilerin ANSYS Workbench' e Aktarılması 18
2.3. ANSYS Workbench'de FSI: Fluid Flow (Fluent) Yapısının Oluşturulması 20
2.4. Fluid Flow (Fluent) Bölümündeki İşlemlerin Yapılması 22
2.4.1. Fluid Flow (Fluent) için Sonlu Elemanlar Modellemesinin Yapılması 22
2.4.1.1. Ağ Elemanı için Sonlu Elemanlar Modellemesi 23
2.4.1.2. Yüzdürme Elemanı için Sonlu Elemanlar Modellemesi 24
2.4.2. FSI: Fluid Flow (Fluent) için Analiz Parametrelerinin Belirlenmesi 25
2.4.3. FSI: Fluid Flow (Fluent) için Çözüm Ayarlarının Yapılması 26
2.5. Static Structural Bölümündeki İşlemlerin Yapılması 27
2.5.1. Analizlerde Kullanılacak Materyallerin Programa Tanımlanması 27

2.5.2. Mekanik ve Sonlu Elemanlar Modellemelerinin Yapılması 28
2.5.2.1. Ağ Elemanı için Mekanik ve Sonlu Elemanlar Modellemelerinin Yapılması 28
2.5.2.2. Yüzdürme Elemanı için Mekanik ve Sonlu Elemanlar Modellemelerinin Yapılması 31
3. BULGULAR 33
3.1. Ağ Eleman İçin Elde Edilen Sonuçlar 34
3.1.1. 0,5 m/s Akıntı Hızı Altında Ağ Eleman İçin Elde Edilen Sonuçlar 34
3.1.2. 0,7 m/s Akıntı Hızı Altında Ağ Eleman İçin Elde Edilen Sonuçlar 36
3.1.3. 1 m/s Akıntı Hızı Altında Ağ Eleman İçin Elde Edilen Sonuçlar 38
3.2. Yüzdürme Elemanı İçin Elde Edilen Sonuçlar 40
3.2.1. 0,5 m/s Akıntı Hızı Altında Yüzdürme Elemanı İçin Elde Edilen Sonuçlar 40
3.2.2. 0,7 m/s Akıntı Hızı Altında Yüzdürme Elemanı İçin Elde Edilen Sonuçlar 42
3.2.3. 1 m/s Akıntı Hızı Altında Yüzdürme Elemanı İçin Elde Edilen Sonuçlar 43
3.3. Elde Edilen Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması 45
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR 47
5. ÖNERİLER 49
KAYNAKLAR 50
ÖZGEÇMİŞ 54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Geleneksel bağlama sistemi 10
Şekil 2. Bir kafes sistemine etkiyen temel yükler (Beveridge, 1987) 11
Şekil 3. Bağlamada kullanılan sentetik fiber halat (DİKEL, 2005)..... 12
Şekil 4. Mooring sistemde kullanılan şamadıra örnekleri 12
Şekil 5. Mooring sistemlerde kullanılan Sürükleme- Gömme (a), Ölü Ağırlık (b) ve Çengel (b) çapa tipleri (TÜRK LOYDU, 2010)..... 13
Şekil 6. Şamandıralı bir mooring sistemin yükleme durumu 15
Şekil 7. AutoCAD programında çizilen ağ geometrisi..... 16
Şekil 8. Yüzdürme elemanının iç kesiti..... 17
Şekil 9. AutoCAD programında çizilen yüzdürme elemanı..... 17
Şekil 10. Ağ ve yüzdürme elemanlarının birleştirilmiş hali..... 18
Şekil 11. Ağ elemanının DesignModeler' da düzenlenmiş hali..... 19
Şekil 12. Yüzdürme elemanının DesignModeler' da düzenlenmiş hali..... 19
Şekil 13. Custom FSI: Fluid Flow (Fluent) yapısı..... 20
Şekil 14. Ayrı birimlerden oluşturulan FSI: Fluid Flow (Fluent) yapısı 21
Şekil 15. FSI: Fluid Flow (Fluent) birimlerinin işlevleri..... 22
Şekil 16. Static Structural birimlerinin işlevleri 22
Şekil 17. Ağ elemanı mesh yapısı 23
Şekil 18. Ağ elemanı mesh iç yapısı..... 24
Şekil 19. Yüzdürme elemanının mesh yapısı 25
Şekil 20. Yüzdürme elemanı mesh iç yapısı..... 25
Şekil 21. Yüzdürme elemanı için 1 m/s hız altında oluşan Residual Monitors 27
Şekil 22. Ağ elemanı sonlu elemanlar yapısı 29
Şekil 23. 1 m/s hız için ağ elemanına aktarılan basınç..... 30
Şekil 24. Ağ elemanı için yüklerin ve mesnetlerin eklenmiş hali 30
Şekil 25. Yüzdürme elemanı için mesnetlerin eklenmiş hali 31
Şekil 26. 1 m/s hız için yüzdürme elemanına aktılan basınç..... 32
Şekil 27. 0,5 m/s akıntı hızı altında ağ elemanı için hesaplanan soldan sağa sırasıyla von-Mises gerilme değerleri(MPa), şekil değiştirme değerleri ve yer değiştirme değerleri(mm) 35
Şekil 28. 0,7 m/s akıntı hızı altında ağ elemanı için hesaplanan soldan sağa sırasıyla von-Mises gerilme değerleri(MPa), şekil değiştirme değerleri ve yer değiştirme değerleri(mm) 37

Şekil 29. 1 m/s akıntı hızı altında ağ elemanı için hesaplanan soldan sağa sırasıyla von-Mises gerilme değerleri(MPa), şekil değiştirme değerleri ve yer değiştirme değerleri(mm) 39

Şekil 30. 0,5 m/s akıntı hızı altında yüzdürme elemanı için hesaplanan a) von-Mises gerilme değerleri (MPa), b) şekil değiştirme değerleri, c) yer değiştirme değerleri(mm) 41

Şekil 31. 0,7 m/s akıntı hızı altında yüzdürme elemanı için hesaplanan a) von-Mises gerilme değerleri(MPa), b) şekil değiştirme değerleri, c) yer değiştirme değerleri(mm) 42

Şekil 32. 1 m/s akıntı hızı altında yüzdürme elemanı için hesaplanan a) von-Mises gerilme değerleri(MPa), b) şekil değiştirme değerleri, c) yer değiştirme değerleri(mm) 44

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Ağ elemanda kullanılan materyal özellikleri 28
Tablo 2. Yüzdürme elemanda kullanılan materyal özellikleri 28
Tablo 3. Fluent kısmında hesaplanan ve Static Structural kısmına aktarılan basınç değerleri (Pa) 33
Tablo 4. Ağ elemanda kullanılan malzemelerin kısaltmaları 33
Tablo 5. Ağ eleman 0,5 m/s akıntı hızı için elde eldilen sonuçlar 36
Tablo 6. Ağ eleman 0,7 m/s akıntı hızı için elde eldilen sonuçlar 38
Tablo 7. Ağ eleman 1 m/s akıntı hızı için elde eldilen sonuçlar 40
Tablo 8. Yüzdürme elemanı 0,5 m/s akıntı hızı için elde eldilen sonuçlar 41
Tablo 9. Yüzdürme elemanı 0,7 m/s akıntı hızı için elde eldilen sonuçlar 43
Tablo 10. Yüzdürme elemanı 1 m/s akıntı hızı için elde eldilen sonuçlar 44
Tablo 11. Ağ elemanda akıntı hızlarına göre oluşan maksimum von-Mises gerilme değerleri (MPa) 45
Tablo 12. Ağ elemanda akıntı hızlarına göre oluşan maksimum şekil değiştirme değerleri 46
Tablo 13. Ağ elemanda akıntı hızlarına göre oluşan maksimum yer değiştirme değerleri (mm) 46

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CFD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
$C_{1\varepsilon}$, C_2	Epsilon Denklemi Sabitleri
cm	Santimetre
FEM	Sonlu Elemanlar Yöntemi
FSI	Sıvı-Yapı Etkileşimi
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
k	Türbülans Kinetik Enerjisi
kg	Kilogram
m	Metre
mm	Milimetre
m^3	Metreküp
Mpa	Megapascal
N	Newton
Pa	Pascal
PET	Polietilen Tereftalat
s	Saniye
x,y,z	Kartezyen koordinatlar
%	Yüzde
ε	Yayılma Oranı
ω	Spesifik Yayılma Hızı
σ_k	k Denklemi için Türbülanslı Prandtl Sayısı
σ_ε	ε Denklemi için Türbülanslı Prandtl Sayısı
μ	Viskozite
μ_t	Girdap Viskozitesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Kafes balıkçılığı bazı kaynaklara göre günümüzden 3000 yıl öncesine kadar uzanan bir üretim biçimidir. Başladığı zaman dilimden bu zamana kadar yapısal olarak birçok evrim geçirmiş olmakla birlikte asıl amaç her zaman aynı kalmıştır. Bu yıllardır değişmeyen amaç, balıkları dış tehditlerden muhafaza ederken aynı zamanda kafes dışına çıkmalarına engel olarak yeterli olgunluğa erişmelerini sağlayıp elde edilen ürünleri pazarlamak olmuştur. Dünya nüfusundaki artış her şeyde olduğu gibi insanların protein ihtiyacında da artışa sebep olmuştur. Bu artan protein ihtiyacının karşılamak için açık deniz balıkçılığı her geçen gün büyümüş ancak bu büyüme balık popülasyonunu olumsuz yönde etkileyerek sayılarının azalmasına sebebiyet vermiştir. Bu olumsuz etkilerin yaşanmaması adına otoriteler harekete geçmiş balıkçılık sezonlarında ve kullanılan yöntemlerde kısıtlamalara gitmiştir. Bu durum kafes balıkçılığı disiplinin gerek ülkemizde gerekse dünyada hızla popülerlik kazanmasına ve üretim sahalarının ve miktarlarının artmasına sebebiyet vermiştir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)' nün Balıkçılık ve Su Ürünleri Yetiştiriciliğinin Durumu raporuna göre 2016 yılında su ürünleri yetiştiriciliği sektörü 80 milyon ton ürün elde etmiştir. Aynı yıl avcılık ile elde edilen ürün miktarı ise 90,9 milyon ton olmuştur. Yine aynı örgütün verilerine göre bu devasa üretimin ekonomik karşılığı 231,6 milyar Amerikan doları olmuştur. Durmaksızın artış gösteren yetiştiricilik sektörü 2000 yılında dünyadaki toplam üretimin %25.7'ni oluştururken, 2016 yılında ise toplam üretimin %46.8 'ni oluşturmaktadır(FAO,2018). Ülkemizde ise balık yetiştiriciliği 2286 tesiste gerçekleştirilmekte olup bu tesislerin 724 tanesi ağ kafes sistemi kullanmaktadır(TCTOB, 2019). Bu tesisler 2018 yılında yaklaşık 315 bin ton üretim yaparak ülke ekonomisinde 5.6 milyar Türk lirası yer tutmuştur(TÜİK, 2018). Bu istatistikler göz önüne alındığında ilerleyen yıllarda yetiştiriciliğin avcılık sektörünün önüne geçmesi içten bile değildir.

Kültür balıkçılığı iç sular ve denizler olmak üzere iki farklı ortamda yapılabilmektedir. Bu bahsi geçen ortamlar birbirinden farklı karakteristik özelliklere sahip olup her bir ortamdaki dalga miktarı, akıntı gücü, su sıcaklığı, rüzgar şiddeti gibi etkenler farklılık gösterir. Hal böyleyken kurulacak olan kafes sistemlerin ve bağlama sistemlerinin tasarımlarının dikkatlice yapılması yukarıda bahsi geçen değişkenlerin iyice

irdelenmesi gerekmektedir. Yapılan bir tasarımın her türlü ortamda kullanılması ve verimli olması mümkün değildir. Eğer yapılan tasarım sistemin kurulacağı çevresel ortama göre hazırlanmaz ise kafeslerde sürüklenmeler, yırtılmalar gibi ekonomik zarara yol açacak istenmeyen durumlar meydana gelecektir.

Bağlama sistemleri, kültür balıkçılığında kullanılan kafes sistemlerinin dalgalar, akıntılar ve rüzgarlar gibi dış etkenlerle sürüklenmesini veya yırtılıp zarar görmesini engelleyip üreticiye sabit bir platform oluşmasını sağlayan elemanlar bütünüdür. Genel olarak çapa, halat ve şamandıra olmak üzere üç elemandan oluşur. Bağlama sistemlerinin tasarımı kafes sistemlerinden ve dış etmenlerden bağımsız olarak yapılmamalıdır. Aksi takdirde yukarıda bahsedilen olumsuz durumlar oluşacaktır. Tasarım sürecinde yapılacak analizde kullanılacak en faydalı yöntem olarak sonlu elemanlar yöntemi söylenebilir. Sonlu elemanlar yöntemi basit bir tanımla uygulanacak olan mühendislik projesininde kullanılan elemanları çok sayıda küçük, basit ve çözümlemesi kolay parçalara ayırarak bu bölgelerde yük analizi yapmaktır. Böylelikle analiz aşaması daha kolay ve hızlı bir hal alır. Sonlu elemanlar metodu temeline dayanan programlar geliştikçe analiz aşamasında elde edilen sonuçlar daha gerçekçi ve doğru bir hal almıştır.

1.2. Literatür Özeti

Literatürde mooring sistem ile ilgili olarak yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların yöntem itibarıyla iki farklı şekilde yapıldığı söylenebilir. Bu yöntemlerden ilki kafes sistemlerin analizlerinin bilgisayar programları aracılığıyla yapılmasıdır. Bu analiz yönteminde kullanılacak olan mooring sistemin geometrisi çizilir. Mooring sistem elemanlarında kullanılacak olan malzemelerin yoğunluk, elastisite modülü, poisson oranı, akma dayanımı, çekme dayanımı gibi karakteristik özellikleri tanımlanarak çizilen geometrinin elemanlarına atanır. Sisteme etki eden yüklerin büyüklükleri, yönleri, etki etme şekilleri program üzerinden belirlenerek şekle uygulanır. Sonlu elemanlar yöntemini kullanan bu programlar mooring sistem geometrisine etki eden bu kuvveteri simüle ederek olası deformasyonları ve sistemin yükler altındaki davranışını grafik veya model olarak gösterir. Sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan analiz programlarına örnek olarak ANSYS, ABAQUS, COMSOL Multiphysics vb. programlar gösterilebilir. Bir diğer yöntem ise kullanılacak mooring sistemini tasarlayıp, araştırmanın yapılacağı bölgeye kurulmasıyla elde edilir. Suya indirilen sistemin yükle

etkileşime giren kısımları belirli periyotlarla incelenerek eleman üzerinde oluşan deformasyonlar kayıt altına alınır. Böylece tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken hususlar hakkında bilgi edinilmiş olunur.

Aşağıda litetatürde bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Tsukrov vd. (2003) çalışmalarında ağ panellerinin çevresel yüklere gösterdikleri hidrodinamik tepkiyi modellemek için sonlu elemanlar yöntemi kullanmışlardır. Kullanılan yöntemde eşdeğer bir ağ elemanı üzerinde akıntı ve dalga yüklerinin ağ üzerinde oluşturduğu etkiler incelenmiştir. Yapılan sonlu elemanlar çalışmasının doğruluğu diğer araştırmacıların deneysel gözlemleri, sayısal tahminler ve basitleştirilmiş analitik sonuçlarla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Patursson vd. (2010) çalışmalarında bir ağ kesitinin içinden ve etrafından geçen akış özelliklerini hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ve ölçümler kullanarak incelemişlerdir. Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklemlerini çözmek ve akışı açıklamak için bir k – ε türbülans modeli ile birlikte sonlu bir hacim yaklaşımı kullanılmıştır. Ağ kesiti üzerinde meydana gelen yükselme ve sürüklenme etkileri farklı hızlarda ve hücum açılarında ölçülmüştür. Analizlerin sonucunda ölçülen ve modellenen veriler arasında bir uyum olduğu görülmüştür.

Cui vd. (2013) çalışmalarında yassı balık kafes sistemlerinin dalgalar ve akıntılardaki hidrodinamik davranışlarını, sonlu elemanlar yöntemine dayalı bir simülasyon modeli kullanılarak incelemişler ve sayısal sonuçları doğrulamak adına ölçekli modeller kullanılarak bir dizi fiziksel test yapmışlardır. Yapılan analiz sonucunda yassı kafes sistemlerinde yer alan bağlama hattı geriliminin dalga yüksekliği ve periyodu ile arttığı görülmüştür. Son olarak alt çerçeve ağırlıklarının artması ile yalpalamanın azaldığı görülmüştür.

Li vd. (2013) çalışmalarında yarı daldırılmış yüzdürme elemanında ve yüzdürme elemanına bağlamış olan kafes ve ağ üzerinde akıntı ve dalga yükleri sebebiyle meydana gelen dinamik tepkileri incelemişlerdir. Çalışmada farklı akıntı hızları ve dalga boyutları kullanılarak ağ ve yüzdürme sistemi üzerindeki dinamik etkiler, hacim azalması ve sürüklenme durumları incelenmiştir.

Li vd (2013) çalışmalarında düzensiz dalga etkisindeki derin su yerçekimi balık kafesinin doğrusal olmayan hidroelastik tepkisini araştırmışlardır. Lineer olmayan ve yüksek deformasyon miktarına sahip geometrinin hareketini simüle etmek ve elemanlardaki deformasyon miktarını görmek için kiriş elemanı, kafes elemanı ve yay

elemanı üzerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Yaka üzerindeki kaldırma kuvvetini hesaplamak için dağılmış kiriş yöntemi kullanılmış ve kafes üzerinde düzensiz dalgalar sebebiyle oluşan yer değiştirme, hacim azalması incelenmiştir.

Xu vd. (2013) çalışmalarında ağ kafes ve batırılmış bağlama sistemlerinin, akıntı ve dalga yükleri altındaki hidrodinamik tepkilerini inceleyebilmek için bir sayısal simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen simülasyon sonuçlarını doğrulayabilmek için bir dizi deney yapılmıştır. Daha sonra farklı bağlama biçimlerindeki çok kafesli bir sistemin sayısal simülasyonu yapılmış olup dalga ve akıntı yönlerinin ve ızgara çizgilerinin uzunluğunun kafes sistemin tepkisi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel sonuçlar ile sayısal simülasyon sonuçlarının uygunluğu görülmüştür.

Zhao vd. (2013) çalışmalarında akıntı içindeki bir kafes sistemin içinden ve etrafından geçen akış alanını simüle etmek için üç boyutlu bir model oluşturmuşlardır. Simülasyonda sonlu elemanlar yöntemi ve akışı tanımlamak için bir k – ε türbülans modeli seçilmiştir. Kafes sistem simülasyon sırasında farklı akıntı hızları ve hücum açıları içeren birçok senaryoya tabi tutulmuştur. Sayısal sonucu doğrulamak için elde edilen veriler deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve sonuçların uyum içinde olduğu gösterilmiştir.

Bi vd. (2014) çalışmalarında akış ve esnek ağlar arasındaki etkileşimi simüle etmek için sayısal bir yaklaşım kullanmışlardır. Çalışmada esnek ağların konfigürasyonu, toplu kütle modeli kullanılarak simüle edilmiş ve balık ağlarının etrafındaki akış alanı, gözenekli ortam modeli kullanılarak simüle edilmiştir. Uygun bir yinelemeli şema kullanılarak, akışkan-yapı etkileşim problemi çözülmüş ve esnek ağlar etrafında sabit akış alanı elde edilmiştir. Sayısal modelleri doğrulamak için sayısal sonuçlar, ilgili fiziksel model testlerinden elde edilen verilerle karşılaştırılmış ve karşılaştırmalar, sayısal sonuçların deneysel verilerle iyi bir uyum içinde olduğunu göstermiştir.

Bi vd. (2014) çalışmalarında sabit bir akımda bir ağ kafesin hidrodinamik özelliklerini simüle etmek için sayısal bir yaklaşım kullanmıştır. Ağ kafesin deformasyonu, toplu kütleli mekanik model kullanılarak hesaplanmış ve bir balık ağı etrafındaki akış alanı, gözenekli ortam akışkan modeli kullanılarak simüle edilmiştir. Uygun bir yinelemeli şema kullanılarak, akış ve ağ kafes arasındaki birleştirilmiş akışkan-yapı etkileşimi çözülmüş ve ağ kafesin içindeki ve etrafındaki sabit akış alanı elde edilmiştir. Kullanılan yaklaşım ile farklı akımlarda ve farklı ağırlıklarda tek bir ağ kafesi ve çoklu ağ kafeslerinin davranışları incelenmiştir. Sayısal modeller, sayısal sonuçlara

karşılık gelen fiziksel model ölçümleriyle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Karşılaştırmalar, yapılan simülasyonun fiziksel model testlerine uygun olduğunu göstermiştir. Akış ile ağ kafes arasındaki akışkan-yapı etkileşimi dikkate alınarak daha doğru sonuçların alınabileceği belirlenmiştir.

Cornejo vd. (2014) çalışmalarında bir somon çiftliğinin sabit ve yarı günlük akım üzerindeki hidrodinamik etkilerini tanımlamak için bir Büyük Girdap Simülasyonu modeli kullanmışlardır. Çalışmada kullanılan ağ kafeslerinin ağı, literatürde bulunan deneysel verilerle doğrulanan bir gözenekli sıçrama yaklaşımı kullanılarak tanımlanmıştır. Mesh sürükleme katsayısının ve akım yoğunluğunun, uyanıklık oluşumu ve mevcut dinamikler üzerindeki etkilerini incelemek adına bir dizi simülasyon uygulanmıştır. Analizlerin sonucunda uyanmanın uzatılmasının direkt olarak akım yoğunluğuna bağlı olduğu görülmüştür.

Fredriksson vd. (2014) çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemi ve laboratuvar testlerinin bir kombinasyonu kullanılarak bir Raschel ağ yapısını simüle edilmesini amaçlamışlardır. Ağ sisteminin içinde oluşan gerilimleri hesaplayabilmek için farklı malzemeler ve geometriler içeren senaryolar uygulanmıştır. Analiz sonuçları laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar uygulanan ağ yapısının detaylarının yük altındaki sapmaları etkilediğini göstermiştir.

Kim vd. (2014) çalışmalarında modüler kutu yapısına sahip, ticari boyutta bir kafes sistemin geliştirilmesini anlatmaktadırlar. Bahsedilen kafes sistemin içindeki akış alanı özellikleri, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle simüle edilmiştir. Analizi yapılacak sistem farklı hızlarda akıntı ve farklı yükseklerde dalga yüklerine maruz bırakılmıştır. Kafes sistem hem batık halde hem de su yüzeyinde iken analizler yapılmıştır. Sonuçlar, deniz kulağı yetiştirme sistemlerinin yıkıcı arızalarını önlemek için tasarım çerçevesine ayrıntılı yapısal, hidrodinamik ve akış analizlerinin bir kombinasyonunun dahil edilmesinin önemini göstermektedir.

Bi vd. (2015) çalışmalarında ağ kafeslerin dalgalar halinde sönümleme etkisini araştırmak için bir dizi laboratuvar deneyi yapmıştır. Çalışmada ağ kafesin dalga iletim katsayısını, farklı dalga periyotları, dalga yükseklikleri, ağ kafes sayıları, ağ katılıkları, ölçüm pozisyonları, ağ kafesin geometrik şekilleri ve Reynolds sayıları ile incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, ağ kafesin dalga yayılımı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu ve ağ kafeslerin sönümleme etkisinin birçok parametre ile yakın bir ilişki içinde olduğu gösterilmektedir.

Bi vd. (2015) çalışmalarında gözenekli ortam akışkan modeli ile farklı boyutlarda, biyolojik olarak kirlenmiş bir ağ kesiti ve tam ölçekli ağ kafesi boyunca akış simüle etmişlerdir. Çalışmada gözenekli ortam akışkan modeli katsayıları, en küçük kareler yöntemi kullanılarak bir ağ kesiti üzerindeki hidrodinamik yükler ile akış hızı arasındaki ikinci derece fonksiyon ilişkisinden elde edilmiştir. Bir kontrol hacmi analizi yöntemi kullanılarak biyolojik olarak kirlenmiş bir ağ kafesinin içinden ve etrafından geçen akışlar sebebiyle oluşan sürüklenme tahmin edilmiştir. Analizler sonucunda akış hızındaki azalmanın ampirik formülleri ve kafes üzerinde oluşan yük ilgili biyolojik olarak kirlenmiş ağın sürükleme katsayısının bir fonksiyonu olarak türetilmiştir.

Zhao (2015) vd. çalışmalarında ağ üzerindeki dalga etkisini incelemek için iki boyutlu bir sayısal dalga kanalı oluşturmuşlardır. Kanalın bir ucu dalga başlangıç yüzeyi olarak alınmış ve dalga yüzeyini izlemek için sonlu hacim yöntemi kullanılmıştır. Farklı senaryolar altında sayısal analizler yapılmış ve elde edilen veriler deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak sayısal sonuçlar ile deneysel sonuçların uyum içeresinde olduğu görülmüştür.

Chen ve Christensen (2016) çalışmalarında Morison tipi yük modelinin dönüşümüne dayalı olarak gözenekli direnç katsayılarını hesaplamak için yeni bir yaklaşımı incelemişlerdir. Ağ kesiti üzerinde birden fazla senaryo uygulanmış ve sayısal modelin performansını doğrulamak adına kapsamlı doğrulama deneyleri yapılmıştır. Analizlerin sonucunda farklı malzemeler kullanılan ağ kesitindeki sayısal model ile deneysel sonuçlar arasındaki uyumun yeterince iyi olduğu görülmüştür.

Winthereig-Rasmussen vd. (2016) çalışmalarında tam ölçekli ağ sistemlerinin akış özelliklerini incelemek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemini kullanmışlardır ve Reynolds ortalama Navier-Stokes denklemleri sonlu hacim yaklaşımı kullanılarak çözülmüştür. Faroe Adaları'nda yer alan Gulin'deki somon çiftliğine karşılık gelen farklı kafes sıraları için akış hızları araştırılmış ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonları ile bu çiftlikten alınan alan ölçüm verileri karşılaştırılmıştır. Farklı kafes düzenleri, kafes merkezleri arasındaki farklı mesafeler ve farklı ağ sağlamlıkları kullanılarak, deniz kafesleri içinden ve etrafından geçen akış üzerindeki etkiler incelenmiş ve tartışılmıştır.

Yao vd. (2016) çalışmalarında ağ yapısı, kütle-yay modeline göre; akış alanı sonlu hacim yöntemi ile modellenmiş bir sistemin sıvı-yapı etkileşimi dikkate alınarak modellenebilmesi için bir yöntem önermişlerdir. Gerçekleştirilen analizler farklı akıntı

hızları ve ağ malzemeleri kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar mevcut deneyler ile karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Zhao vd. (2016) çalışmalarında dalgalar ve kafes sistem arasındaki etkileşimi incelemek adına üç boyutlu bir kafes sistem oluşturmuşlar ve dalga içindeki kafesi modellemek için gözenekli ortam akışkan modelini kullanmışlardır. Kısmen suyla dolu bir tank tasarlanıp tank içinde dalga hareketi oluşturmak için salınımlı sınır yöntemi kullanılmıştır. Sıkıştırılamaz, viskoz bir sıvının akış hareketi, Navier-Stokes denklemleriyle tanımlanmış ve serbest yüzey, sıvı hacim yöntemi ile izlenmiştir. Sayısal modelin doğrulanması, sayısal sonuçların bir ağ-kafes modeline karşılık gelen fiziksel model ölçümlerinin ile karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda ağ kafeslerin hem dalga yüksekliği hem de ağ kafesleri etrafındaki su-parçacık hızı dağılımı üzerindeki etkilerinin dikkat çekici olduğu görülmüştür.

Bi vd. (2017) çalışmalarında konvansiyonel ve kendi ekseni etrafında 45^{o} döndürülmüş iki silindrik haç biçimli ağ yapısı, farklı hücum açıları altında üç boyutlu Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklemleri ile sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda faklı senaryolara tabi tutulan ağ yapıları arasında bağıl sürüklenme farkları incelenmiştir.

Xu vd. (2017) çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemini kullanarak dalga etkisi altında metal yalık kafesinin yüzer yakasının yapısal analizini yapmışlar ve deneysel sonuçlarla doğrulamışlardır. Analizler sonucunda sayısal yöntem kullanılarak yaka üzerindeki deformasyonun doğru bir şekilde hesaplanabileceği ve en büyük deformasyonun yakanın üst kısımlarında meydana geldiği görülmüştür. Çalışma sonunda yüzdürme yakanın deformasyonlardan daha az etkilenmesi için uygulanabilecek yöntemler önerilmiştir.

Bi vd. (2018) çalışmalarında Çin'in Sarı Denizinde yer alan balık çiftliklerinde yer alan kafes sistemlerin ağ yapıları ele alınmış ve ağ yapıları farklı derinliklerde ve farklı süreler altında analiz yapmışlardır. İlgili ağ yapıları laboratuvar deneyiyle doğrulanan bir gözenekli ortam akışkan modeli kullanılarak simülasyona tabi tutulmuştur. Yapılan analizler sonucunda kirli ağ yapısının temiz ağ yapısına göre 10 kat daha fazla hidrodinamik yüke ve daha fazla sürüklenmeye maruz kalabileceği görülmüştür.

Bi ve Xu (2018) çalışmalarında 2 × 4 tam ölçekli ağ kafeslerden oluşan bir balık çiftliğinde, kafes sistemlerin hem sabit hem de gelgit akıntılar altındaki davranışları sayısal olarak incelemişlerdir. Kafes yüksekliğinin, akıntının geliş açısının ve biyolojik

kirlilik seviyesinin balık çiftliğinin civardaki akış alanındaki ağlara etkileri sunulmuş ve tartışılmıştır. Analizler sonucunda balık çiftliğinden aşağı akış yönündeki wake bölgesinin yüksekliği, artan kafes yüksekliğiyle artacağı, biyolojik kirlilik seviyesi arttıkça hem ağ kafes içinde hem de izlenme bölgesinde ki akış hızındaki yavaşlama olacağı ve gelgit akıntısının geliş açısı ile ilgili olarak balık çiftliğinin optimum yönünün ekolojik bir perspektiften belirli bir gelgit akıntısında belirlenebileceği görülmüştür.

Kim vd. (2018) çalışmalarında inşa edilen bir kanal içinde kullanılmak üzere bir kafes sistemi tasarlamak için mühendislik yaklaşımı kullanmışlardır. Bu çalışmada üç boyutlu çizim, hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve sonlu elemanlar yönteminin bir kombinasyonu kullanılmıştır. Uygulanan simülasyon güçlü akıntılar ve yüksek su sıcaklıkları altında incelenmiştir. Çalışma sonucunda akıntı yükleri altında malzemelerde oluşan gerilme değerleri incelenmiştir.

Klebert vd. (2018) çalışmalarında elipsoid biçiminde kapalı bir kafes sisteminin akış analizleri hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve deneysel ölçümler kullanılarak incelemiş ve sunmuşlardır. Sistemin akış ve taşıma özelliklerinin üç boyutlu sayısal simülasyonları Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklem yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar akustik Doppler hız ölçümü teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen ölçümlerle karşılaştırılmıştır.

Myrli, O. ve Khawaja, H. (2019) çalışmalarında akışkan-yapı etkileşimi (FSI) simülasyonu, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) ile zayıf bir şekilde yapı mekaniği (FEM) ile birleştirilerek, naylon ve PET-wire ile birlikte çalışılan su ürünleri ağ kafeslerinde poliüretanın kullanımını araştırılmıştır. Çalışmada bir ağ kesiti ele alınmıştır ve su ürünleri yetiştiriciliği için en umut verici sonuçları gösteren malzemeler araştırılmıştır.

Zhu vd. (2019) çalışmalarında ağ yapıları üzerinde akış analizlerinin yapılmasının balıkçılık sektörüne olumlu katkıda bulunacağını ve hesaplamalı analizlerin laboratuvar ortamında yapılan analizlere nazaran daha düşük maliyetli olduğunu belirtmişlerdir. Sıvının ağ sistemden geçerken sıvı rejiminde meydana gelecek değişiklikleri ve ayrıca kirletici madde konsantrasyonundaki değişiklikleri incelemek için bilgisayar simülasyonları kullanılmıştır. Bu gözden geçirmenin ve yazılımların ve uygulamalarla ilgili tartışmaların, su ürünleri yetiştiriciliği ve ağ kafesi ile ilgili gelecekteki araştırmalar için bazı öneriler sağlayabileceği belirtilmiştir.

Bui vd. (2020) çalışmalarında tek bir kafes veya belirli bir düzenlemede birden fazla kafes içeren farklı senaryolarda tamamen suya daldırılmış küresel tipte bir kafes sistemi ele alınmıştır ve ağ çeperini ve mekanik çerçeveyi temsil eden ince gözenekli bir tabaka olan içi boş bir küre olarak modellenerek Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) metoduyla açık deniz balık kafesleri üzerinden ve içinden geçen bir akışı incelemişlerdir. Biyolojik kirlenme fenomeninin iyi oksijenlenmiş su değişimini büyük ölçüde azaltabildiği ve dört özdeş kafesin kademeli düzenlemesinin kareden daha üstün olduğu sonucuna ulaşmıştır.

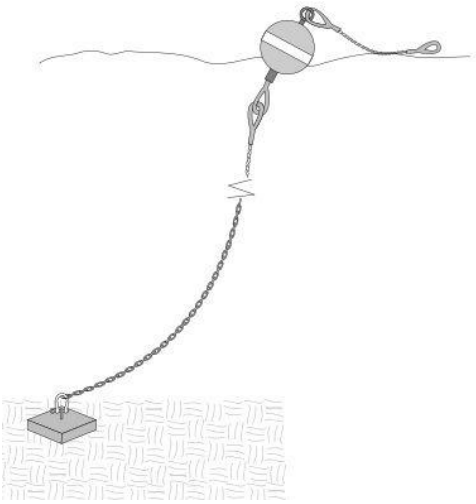
Zou vd. (2020) çalışmalarında düğümsüz polietilenin sağlamlık oranının ve akıntının hücum açısının sürtünme, ağ deformasyonu ve ağ yoluyla akış alanı dağılımı üzerindeki etkisini araştırmak için, kayma gerilimi türbülansını birleştiren tek bir sıvı-yapı etkileşimi modeli, k-omega modeli ve büyük deformasyonlu doğrusal olmayan yapısal sonlu elemanlar modelini değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmış ve hata oranları hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda sıvı-yapı etkileşimi modelinde tek yönlü bağlanmaya dayalı mevcut sayısal simülasyonun ağ üzerindeki hidrodinamik kuvvetleri incelemek için kullanılabileceğini gösterilmiştir. Ayrıca ağ oluşumundan kaynaklanan türbülanslı akımının varlığı oraya konmuş ve akış hızı arttıkça ve sağlamlık azaldıkça eşdeğer gerilmenin ve toplam yer değiştirmenin arttığı görülmüştür.

Zou vd. (2021) çalışmalarında küre (düğüm) ve silindir (sicim) çapları arasındaki oranın, çeşitli saldırı açılarına sahip haç şeklindeki yapıları çevreleyen sıvı akışı ve sürüklemesi üzerindeki etkileri, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) modellerinde k-ω kayma gerilmesi türbülanslı modele dayalı olarak sayısal olarak incelemiştir ve Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklemlerini çözmek için sonlu hacim yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda ana parametrelerin (hücum açısı, düğüm boyutu) etkilerinin akış düzeni ve sürükleme katsayıları üzerinde önemli olduğu gösterilmiştir.

1.3. Mooring Sistem

Mooring sistem kültür balıkçılığında ve birçok denizcilik alanında kullanılmakta olan bağlama sistemidir. Kültür balıkçılığında kullanılma amacı kullanılan kafesleri istenilen pozisyonda tutmak, sürüklenmeleri ve buna bağlı olarak ağ sistemlerinde oluşabilecek yırtılmaların önüne geçerek üreticiye sabit bir platform sunmaktır. Bununla birlikte, demirleme, kafes yapısal elemanlarına etki eden gerilmeleri ve kafeslerin sert hava koşullarındaki davranışlarını da etkiler ve üretimi, karlılığı ve personel güvenliğini etkiler. Bu nedenle, kafes sisteminin önemli, gerçekten de ayrılmaz bir parçasıdır ve dikkatle tasarlanmalıdır(Beveridge, 1987). Denizcilikte kullanılan bir başka alan ise büyük veya küçük tonajlı gemilerin çapalama aşamasında uygulanmasıdır. Deniz taşıtları demir atmak yerine daha önceden hazırlanan bağlama sistemlerine sabitlenerek sürüklenmelerin önüne geçilir.

Mooring sistemlerin çalışma yöntemleri inşaatların yapı elemanlarıyla benzerlik gözterir. Yapılarda döşeme üzerine gelen yükleri kirişlere, kirişler ise bu yükleri kolonlara aktarır. Nihai olarak kolonlar yükü temele ardındanda zemine aktararak yük transferini sağlarlar. Bağlama sistemlerinde ise yük ilk olarak şamadıradan bağlanan halata aktarılır. Ardından şamandıra ve çapa arasındaki halata en sonda çapaya aktarılır ve transfer sağlanır.

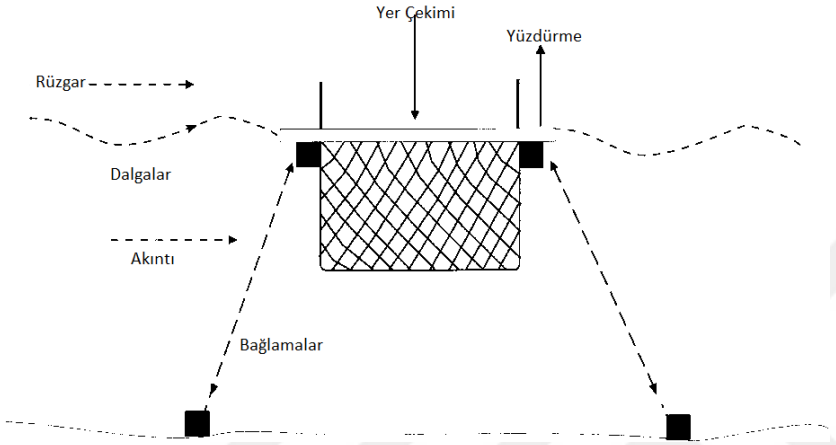


Şekil 1. Geleneksel bağlama sistemi

Bağlama sistemleri genel olarak halat, şamandıra ve çapa olmak üzere üç elemandan meydana gelirler. Bu elemanlar kafes sistemin güvenliği için doğru şekilde

dizayn edilmelidirler. Bir kafes sistemini stabilize halde tutan bağlama sistemine etkileyen dinamik yükler aşağıdaki gibidir:

a) Kafesin su altındaki bölümlerine etkiyen akıntı kuvveti
b) Kafesin su üstündeki bölümlerine etkiyen akıntı kuvveti
c) Kafesin su üstündeki bölümlerine etkiyen rüzgar kuvveti
d) Kafesin su üstündeki bölümlerine etkiyen dalga kuvveti



Şekil 2. Bir kafes sistemine etkiyen temel yükler (Beveridge, 1987)

1.4. Mooring Sistem Elemanları

1.4.1. Halatlar

Mooring sistemde kullanılacak olan halatların temelde iki görevi vardır. Bu görevler üzerine gelecek olan yüklere dayanabilmek ve bu yükleri çapaya aktarabilmektir. Mooring sistem üzerine etkiyen yükler çoğunlukla dinamik olduğundan halatların yüksek kopma mukavemetine sahip olması gerekir. Ayrıca halatlar ani değişen rüzgarlar, fırtına durumları, gelgitler gibi doğa olaylarından dolayı oluşabilecek şok yüklemelere dayanabilmeli ve bu yükleri çapaya aktarabilmelidir. Mooring sistem elemanlarının bağlanmasında genellikle sentetik fiber halat ve zincir birlikte kullanılır. Doğal fiber halatlar kolay aşınan ve çürüyen bir yapıya sahip olduğu için bağlama sistemlerinde kullanılmaya uygun değildir. Zincir ise tek başına kullanıldığında dayanımı çok yüksek olmasına karşın çok ağır olması bir dezavantajdır. Bağlama sırasında sentetik fiber halat doğrudan çapaya ya da kafese bağlanmamalıdır. Bağlantı noktalarında oluşacak sürtünme halata zarar verebileceği için önce zincir sonrasında halat bağlanmalıdır.



Şekil 3. Bağlamada kullanılan sentetik fiber halat (DİKEL, 2005)

1.4.2. Şamandıralar

Mooring sistemlerde şamandıralar genellikle kafeslerden belirli bir mesafeye konuşlandırılır, zincir ve sentetik halatla doğrudan çapaya bağlanır. Su üzerinde kalan kısım ile kafes sistemin arasındaki bağlatıda halatlarla sağlanır. Şamandıranın sistemdeki görevi kafese gelen dikey yükleri absorbe etmektir(Beveridge, 1987). Bu nedenle sistem dizaynı aşamasında şamadıranın büyüklüğüne dikkat edilmelidir. Ayrıca ani yüklemelerden dolayı oluşan şokları çapaya iletilmeden soğurarak çapadaki gerilimi azaltır(DİKEL, 2005).

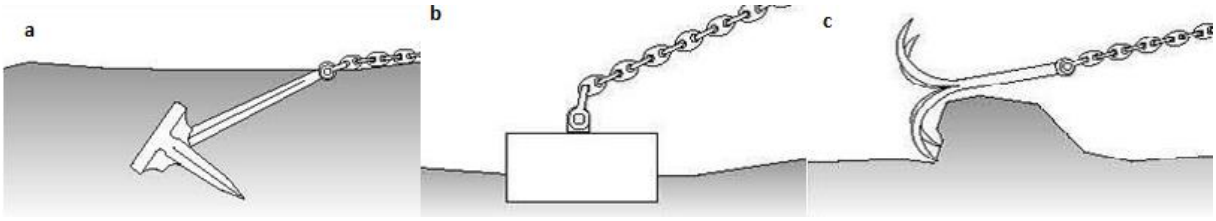


Şekil 4. Mooring sistemde kullanılan şamadıra örnekleri

1.4.3. Çapalar

Mooring sistemde çapa deniz tabanına bırakılarak sistemin rüzgar ve akıntı gibi etkenlerle belirlenen konumdan uzaklaşmasına engel olur. Bu stabilizasyonu sağlamak için ölü ağırlık, sürükleme-gömme, doğrudan gömme veya kazık çapa gibi çapa tipleri

kullanılabilir. Halatlar ve zincirlerle şamandıraya bağlanır. Çapa mooring sistemin yüklerinin ulaştığı nihai elemandır. Bu nedenle kullanılacak çapanın tipine ve ağırlığına önem verilmesi gereklidir.



Şekil 5. Mooring sistemlerde kullanılan Sürükleme- Gömme (a), Ölü Ağırlık (b) ve Çengel (b) çapa tipleri (TÜRK LOYDU, 2010)

1.5. Mooring Sistemin Avantajları ve Dezavantajları

Açık denizlerde kullanılan kafes sistemlerinin yapımı nispeten kolaydır. Kurulum süresi kısa olmakla birlikte kalifiye iş gücüne çok fazla ihtiyaç duymamaktadır. Koordineli ve sıkı bir çalışma ile kurulum süresi bir güne kadar düşebilmektedir. Balıkların takibi, bakımı ve hasadı kolaydır. Kafeslerde istenildiği taktirde üretimi arttırmak için yapılması gereken işlemler daha hızlı bir biçimde yapılabilir(Beveridge, 1987). Küçük ve büyük bütçeli kullanıcıların her ikisi için de uygundur. Kullanılacak malzemeler, kafeslerin büyüklükleri isteğe ve bütçeye bağlı olarak değiştirilebilir.

Balıklarda kafes ağlarına sürtünmeden dolayı aşınmalar ve travmalar meydana gelebilmektedir (Moring, 1982). Balıklar arasında agrasif ilişkiler meydana gelip ürün kaybına sebebiyet verebilmektedir ancak bu durum yer değiştirmeler veya uyumlu türlerin kullanılması ile çözülebilmektedir (Beveridge, 1987). Fırtına, gelgit vb. doğa olaylarından dolayı ağlarda ve kafeslerde hasarlar meydana gelebilir. Maliyeti karada kurulabilecek aynı kapasitedeki bir sisteme göre daha fazladır(Carson 1988).

1.6. Mooring Sistem Tasarımı

Bağlama sistemleri, kullanılacak platformu dalgalar, akıntılar, rüzgarlar gibi dış etmenlerin oluşturduğu kuvvetlere karşı koruması ve platformun zarar görmemesini sağlaması istenir. Ancak bu amaçlar her zaman harmonik değildir.

Tasarım sırasında asla zarar görmeyecek bir bağlama sistemi tasarlanabilir. Ancak bu durum da fazla rijit bir yapı meydana geleceğinden bağlama sisteminin sabitlemesi

gereken kafes veya farklı platformlar zarar görebilir. Ağlar yırtılıp ürün kaybına yol açılabilir.

Bir kafese etkiyen dalga enerjisinin bir kısmı kafesi hareket ettiren kinetik enerji formundadır. Artan kinetik kuvvetler ya yapı içerisinde dağıtılır ya da bitişik kafeslere, demirlere ve suya aktarılır. Bu etkiye maruz kalan balık kafesi gibi yüzen bir gövdenin üç doğrusal ve üç dönme toplam altı hareketi olabilir. Bu hareketler,

Doğrusal hareketler:

- Kabarma: dikey hareket,
- Dalgalanma: boyuna eksen boyunca yatay hareket,
- Sallanma: enine eksen boyunca yatay hareket.

Dönme hareketleri:

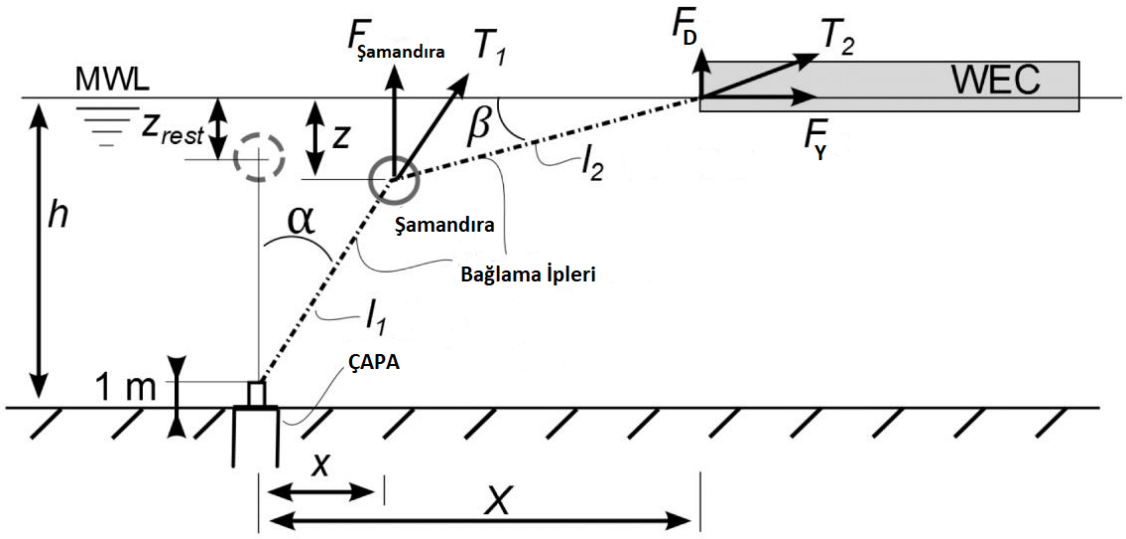
- Yalpalama: dikey eksen etrafında dönme,
- Yuvarlanma: boyuna eksen etrafında dönme,
- Eğim: enine eksen etrafında dönme.

Bağlama sisteminin asıl amacı ise bu durumlar arasından dalgalanma, sallanma ve yalpalama hareketlerini kısıtlamaktır.

Bağlama sistemi tasarlarken ayrıca dikkat edilmesi gereken çevresel ve yapısal unsurlar unsurlarda vardır. Bunlar;

- Ön gerilimler,
- Üst açı,
- Çapa gerilimleri,
- Maksimum gerilimler,
- Çizgi uzunlukları,
- Çizgi ağırlıkları,
- Deniz tabanı tipi olarak verilebilir.

Günümüzde bağlama tasarımları bilgisayar programları üzerinden yapıldığı için bu pararemetrelerin herbiri dikkatlice gözden geçirilmelidir.



Şekil 6. Şamandıralı bir mooring sistemin yükleme durumu

1.7. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada açık denize veya iç sulara kurulan bir mooring sistem üzerine etkiyen dinamik yükler analiz edilip, sistemin bu yükler altındaki yer değiştirmeleri ve deformasyonları incelenmiştir. Bu analizlerin sonucunda mooring sistem tarımcılarının kafes sistemlerinin yükler altındaki davranışları hakkında fikir sahibi olması amaçlanmıştır.

Tezin birinci bölümünde mooring sistemin tarihsel gelişimi, ülkemiz ve dünyada tesislerin üretim kapasiteleri ve bu üretimin ekonomik karşılığı, mooring sistem elemanları ve kullanılan metaryeller, avantajları ve dezavantajları, çeşitleri ve tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken hususlardan bahsedilmiştir.

Tezin ikinci ve diğer bölümlerinde yapılan çalışmalardan ve uygulanan yöntemlerden bahsedilmiştir. Modelleme için kullanılan yazılım programı ve modelleme aşamaları anlatılmıştır. Modelleme aşamasında sistem modeline etkiyen yükler ve büyüklükleri tanımlanmıştır. Simüle edilen mooring sistemin analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde belirlenen dalga, akıntı ve rüzgar yükleri altında mooring sistem elemanlarındaki deformasyonlar belirtilmiştir. Elde eldilen sonuçlar tablo ve grafikler halinde belirtilmiş ve değelendirmeler yapılmıştır.

Tezin beşinci bölümünde tez çalışmasından çıkarılan sonuçlar değerlendirilerek bundan sonra yapılacak olan çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

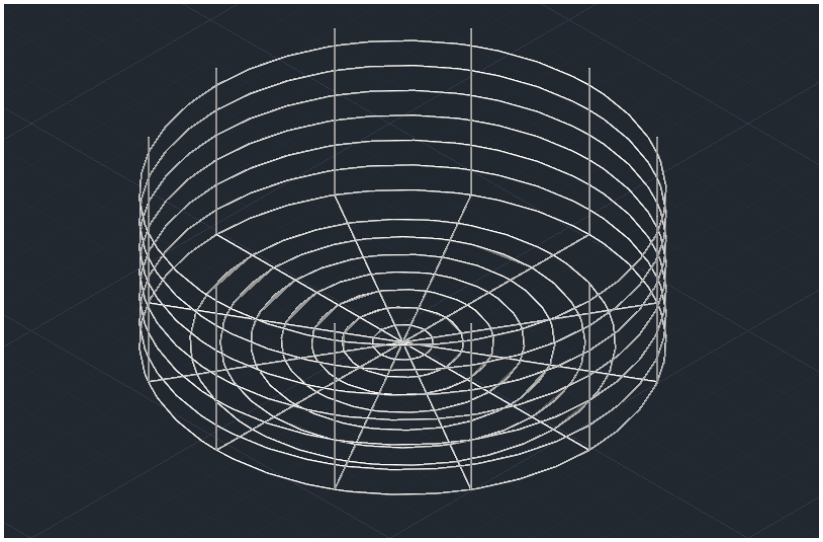
Bu çalışmada ANSYS Workbench® versiyon 16.0 ve AutoCAD 2014 programları kullanılarak açık deniz yapıları olan mooring sistemlerin akıntı yükü altındaki mekanik davranışları incelenmiştir.

2.1. Geometrilerin Tanımı ve Oluşturulması

İncelenilen sistem iki farklı elemandan oluşmaktadır. Elemanların geometrik tasarımları AutoCAD programında çizilerek ANSYS programına aktarımı yapılmıştır. AutoCAD' de çizilen bir geometrinin ANSYS'e aktarımında birden fazla yol olup bu çalışmada geometriler '.sat' formatında dışa aktarılıp sonrasında ANSYS' e yüklenmiştir.

2.1.1. Ağ Elemanının Geometrisinin Oluşturulması

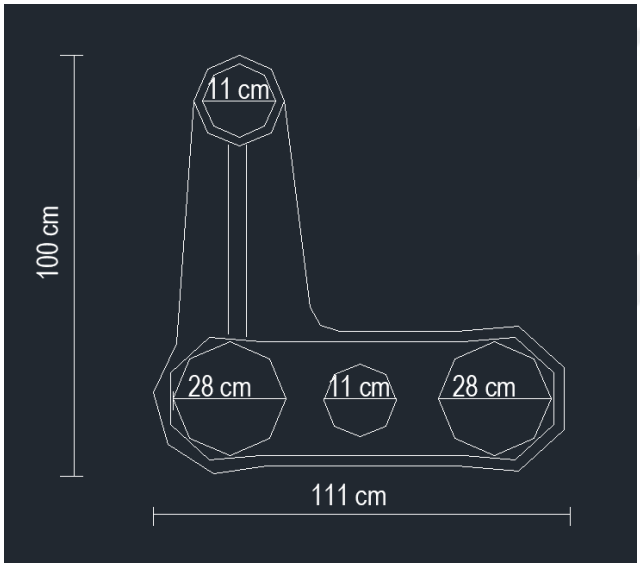
Oluşturulan ağ elemanı 5 metre çapında ve 2 metre derinliğindedir. Ağ yapısını oluşturan ipliklerin çapı 20 mm olarak belirlenmiştir. Gerçekçi bir sonuç elde etmek ve ilerleyen aşamalarda kolaylık sağlaması amacıyla ağ dokusu seyreltilmiştir. Ağ dokusu seyreltilmediği taktirde ortaya çıkan geometrinin sonlu eleman modellemesi sırasında çok büyük sayıda parça ortaya çıkacak olup analiz sırasında aşılması güç zorluklar oluşturacaktır.



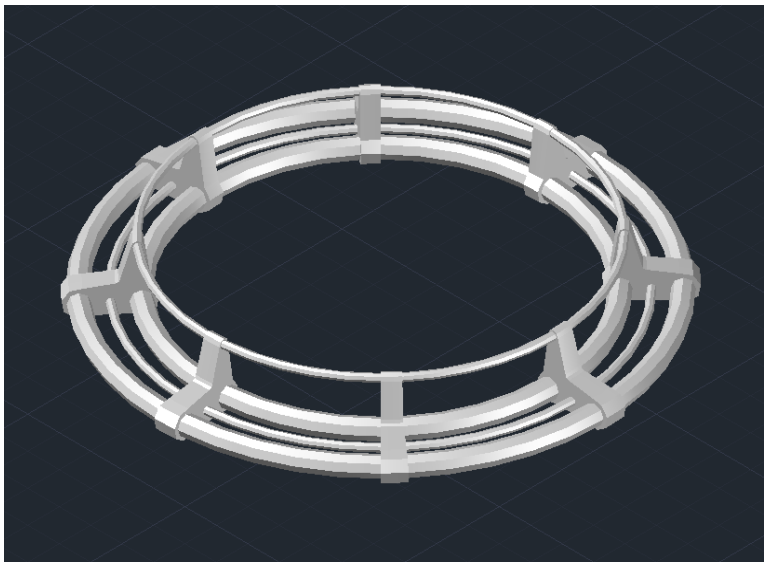
Şekil 7. AutoCAD programında çizilen ağ geometrisi

2.1.2. Yüzdürme Elemanının Geometrisinin Oluşturulması

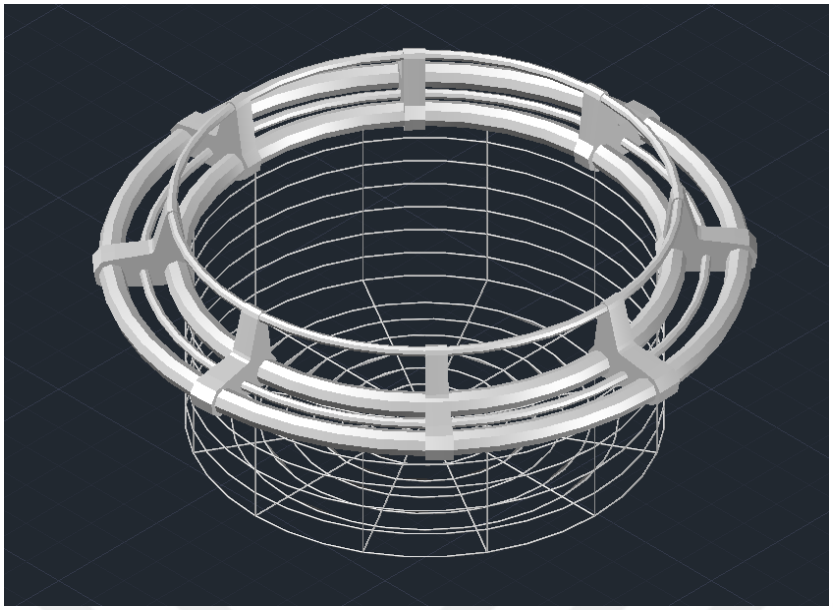
Yüzdürme elemanı ağ elemanında olduğu gibi 5 metre çapında tasarlanmıştır. Yüksekliği 1 metre, genişliği ise 1,11 metre olarak belirlenmiştir. Elemanın su üzerinde yüzer bir sistem olabilmesi için boşluklu bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Bu boşluklu yapının oluşturulabilmesi için birbirinden bağımsız 4 içi boş boru şeklinde geometriler çizilerek bir başka üst geometri ile bu 4 boru sistemi birbirlerine bağlanmıştır. Her bir boru için 2 mm et kalınlığı alınmıştır. Ardından belirlenen bir eksen etrafında 'REVOLVE Komutu' kullanılarak geometriler üç boyutlu hale getirilmiştir.



Şekil 8. Yüzdürme elemanının iç kesiti



Şekil 9. AutoCAD programında çizilen yüzdürme elemanı

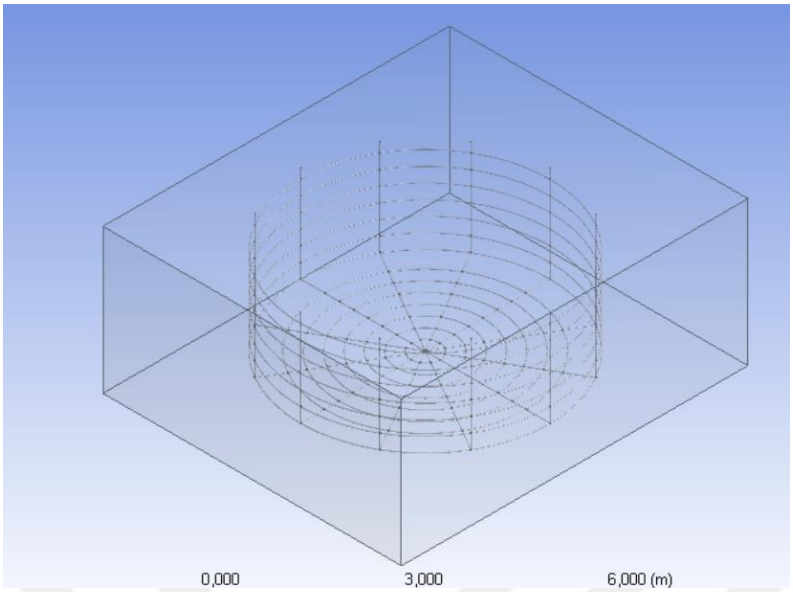


Şekil 10. Ağ ve yüzdürme elemanlarının birleştirilmiş hali

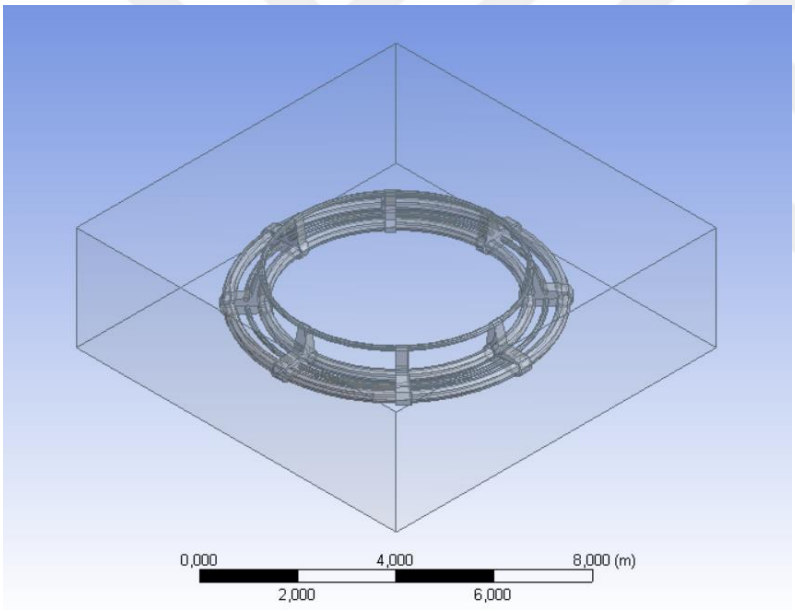
2.2. Geometrilerin ANSYS Workbench' e Aktarılması

Geometriler '.sat' formatında dışa aktarıldıktan sonra ANSYS Worbench' e aktarılabilmektedirler. Aktarılan geometrik sistemlerin analizlerinin yapılabilmesi için sıvı akışının sağlanacağı bir haznenin oluşturulması gerekmektedir. Bu haznenin oluşturulabilmesi için Geometry - DesignModeler' da yer alan Tools sekmesi altındaki Enclosure yapısı seçilir. Oluşturulan Enclosure yapısının, x, y ve z eksenlerinde cisimden ne kadar uzaklığa sahip olacağı seçilebilmektedir. Varsayılan olarak bütün eksenlerde 1 metre mesafe olarak verilmiştir ancak bu çalışmada x ve y eksenlerinden 0,5 metre, z ekseninden ise 1 metre uzaklığa sahip olacak biçimde düzenlenlenmiştir. Bu çalışmada sıvının akış ekseni olarak 'z' ekseni alındığı için 'z' ekseninde fazladan 0,5 metre mesafeye sahip olunması uygun görülmüştür.

Enclosure yapısını oluştururken dikkat edilmesi gereken bir diğer unsur ise Merce Parts seçeneğinin aktif hale getirilmesidir. Bu seçenek aktif hale getirilmediği taktirde analiz kurulumu yapılırken belirlenecek olan sınır şartlarında iki adet iç yüzey oluşmaktadır. Bu iç yüzeler birbirleriyle aynı boyutlara ve geometrilere sahip olmasına rağmen iki farklı eleman gibi davranarak analiz sonuçlarını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu durumu düzeltmenin bir diğer yöntemi ise analiz kurulumu sırasında Mesh Interfaces bölümü altında yer alan Coupled Wall seçeneğinin aktif hale getirilmesidir. Ancak bu düzeltme aynı iç yüzeyden birden fazla oluşmasına sebebiyet verebilmektedir.



Şekil 11. Ağ elemanının DesignModeler' da düzenlenmiş hali



Şekil 12. Yüzdürme elemanının DesignModeler' da düzenlenmiş hali

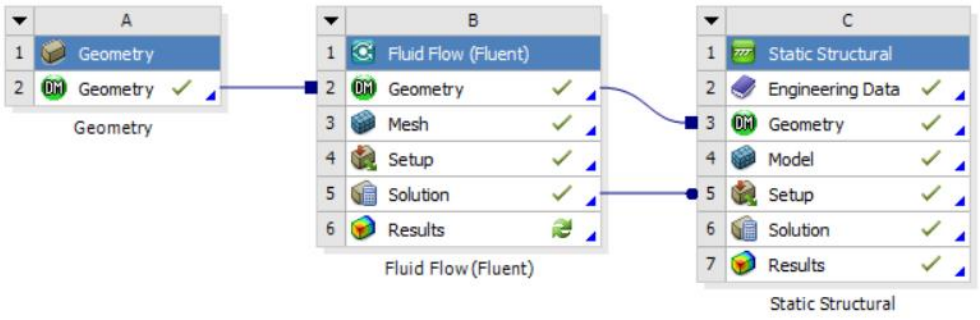
Enclosure yapısı oluşturulduktan sonra oluşan yüzeylerin isimlendirilmesi gerekmektedir. Daha önce belirtildiği gibi z ekseni bu çalışmada akış ekseni olarak belirlenmiştir. Bu nedenle her iki geometri içinde z ekseninin pozitif yönünde kalan yüzeye ‘inlet’, z ekseninin negatif yönünde kalan yüzeye ise ‘outlet’ isimleri verilmiştir. x ve y eksenlerinin pozitif ve negatif yönlerindeki eksenlere ise ‘Duvar_1, Duvar_2, Duvar_3, Duvar_4’ isimleri verilmiştir. Burada her yüzeyin isimlerinin farklı olmasına

dikkat edilmesi gerekmektedir. Çünkü farklı yüzeylerin isimleri çakıştığı takdirde Mesh yapılırken dışa aktarım yapılamamakta ve program hata vermektedir.

Son olarak oluşturulan Enlosure yapısından analizini yapacağımız ağ ve yüzdürme elemanlarının çıkartılması gerekmektedir. Bu işlem için Create sekmesinde yer alan Boolean seçeneği seçilerek bir Subtrack işlemi yapılmalıdır. Eğer bu işlem yapılmaz ise cisimler arasında bir temas yüzeyi oluşmayacak ve akışı sağlanacak sıvı ile analizini yapacağımız elemanlar temas etmeyecektir.

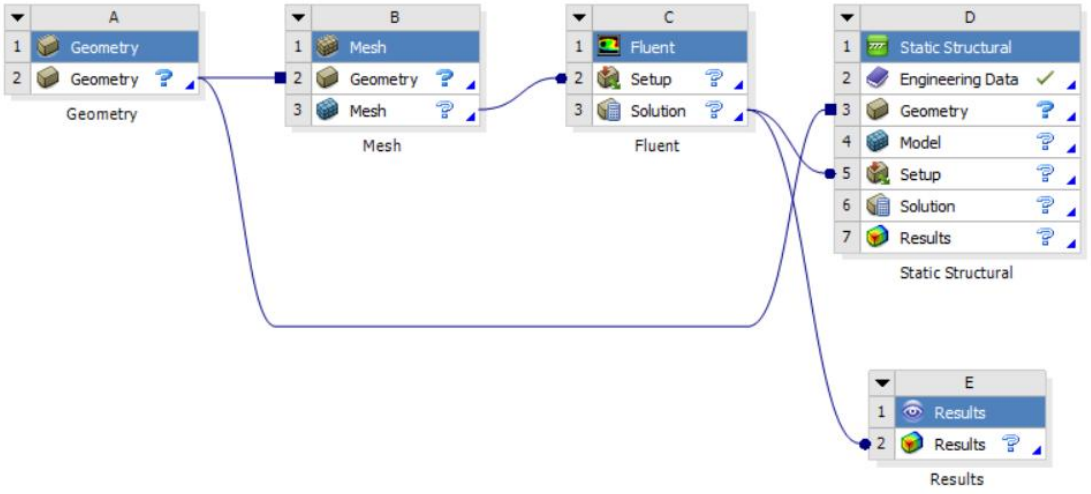
2.3. ANSYS Workbench'de FSI: Fluid Flow (Fluent) Yapısının Oluşturulması

ANSYS Workbench'de FSI: Fluid Flow (Fluent) yapısı oluşturmak için birden fazla yöntem uygulanabilir. Bunlardan en basiti Workbench'de yer alan Toolbox bölümüde yer alan Custom Systems kısmında yer alan FSI: Fluid Flow (Fluent) seçeneğidir. Bu sistem seçildiğinde Workbench'de Şekil 13.' de gösterilen yapı oluşmaktadır.



Şekil 13. Custom FSI: Fluid Flow (Fluent) yapısı

Bu yöntemden farklı olarak her bir çalışma birimi ayrı ayrı eklenerek ve bu çalışmalar arasıda köprü oluşturularak da FSI: Fluid Flow (Fluent) yapısı oluşturulabilir. Bu yapının görünümü Şekil 14'de gösterilmiştir.

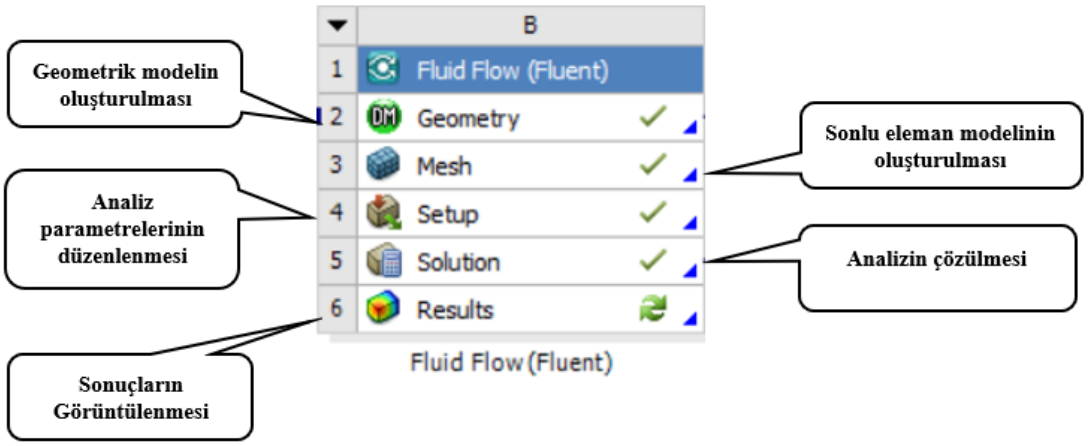


Şekil 14. Ayrı birimlerden oluşturulan FSI: Fluid Flow (Fluent) yapısı

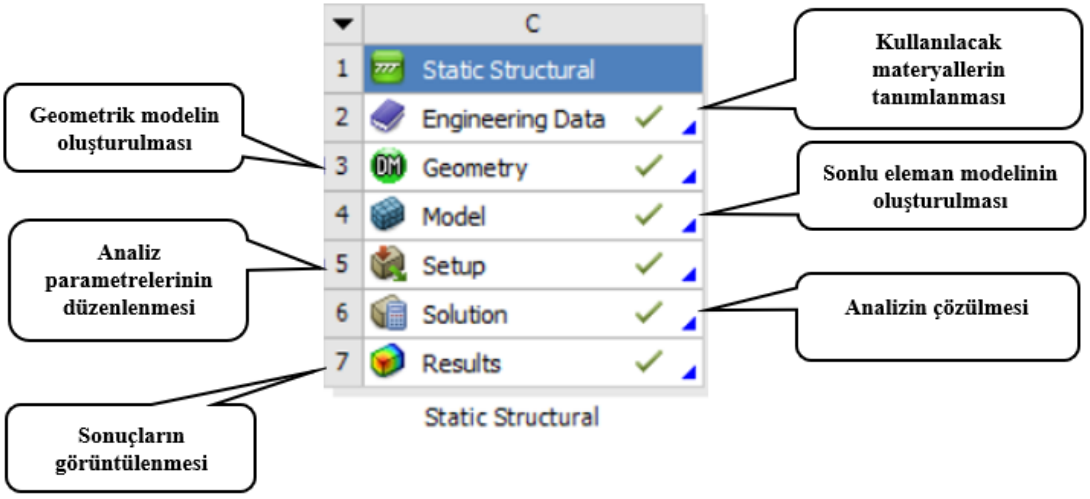
FSI: Fluid Flow (Fluent) yapısının çözülmesi için öncelikle Fluid Flow (Fluent) bölümünde yer alan adımların tamamlanması gerekmektedir. Mesh işlemi yapıldıktan sonra Setup aşamasındaki işlemler tamamlanmalı ve sistemin analizinin yapılması gerekmektedir. Fluent aşamaları tamamlandıktan sonra FSI: Fluid Flow (Fluent) bölümünde yer alan Solution birimindeki veriler Static Structural kısmında yer alan Setup birimine aktarılmalıdır. Böylelikle FSI: Fluid Flow (Fluent) kısmında oluşacak kuvvetlerin Static Structural kısmına aktarılması sağlanır ve bu birimde daha önce oluşan yükler sistem analizine dahil edilmek için kullanılır.

Ayrıca, FSI: Fluid Flow (Fluent) ve Static Structural arasında geometri aktarımıda yapılabilmektedir. Ancak Mesh yapıları FSI: Fluid Flow (Fluent) ve Static Structural için farklı olduğundan bu sistemler arasında Mesh aktarımı yapılamamaktadır. Her iki sistem içinde ayrı ayrı Mesh yapılması gerekmektedir.

Aşağıda yer alan Şekil 15 ve Şekil 16 ‘da FSI: Fluid Flow (Fluent) ve Static Structural bölümlerindeki birimlerin işlevleri belirtilmiştir. İlerleyen bölümlerde bu birimlerin düzenlenmeleri detaylı olarak açıklanacaktır.



Şekil 15. FSI: Fluid Flow (Fluent) birimlerinin işlevleri



Şekil 16. Static Structural birimlerinin işlevleri

2.4. Fluid Flow (Fluent) Bölümündeki İşlemlerin Yapılması

2.4.1. Fluid Flow (Fluent) için Sonlu Elemanlar Modellemesinin Yapılması

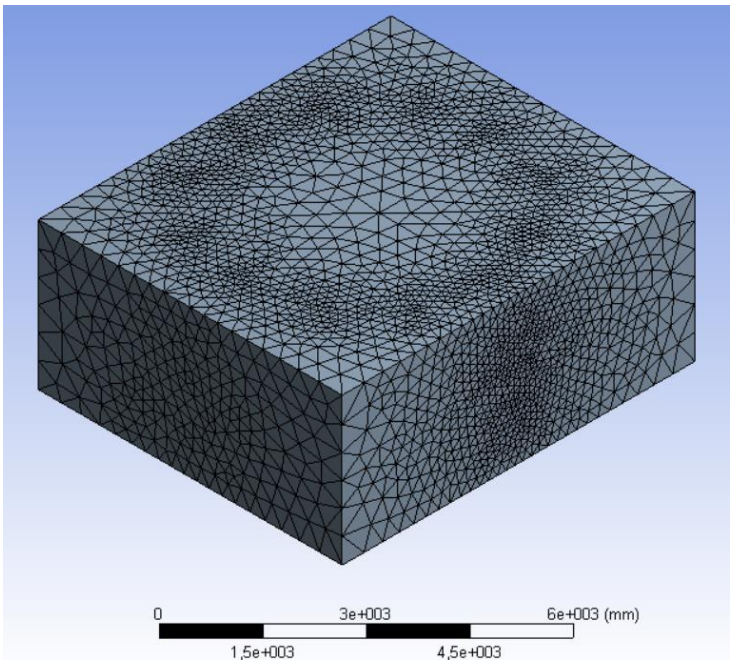
FSI: Fluid Flow (Fluent) için sonlu elemanlar modellemesinin doğru yapılması ilerleyen aşamalarda hatasız bir sonuç elde etmek adına azami önem arz etmektedir. Sonlu elemanlar modellemesi fluent için FSI: Fluid Flow (Fluent) yapısının altında yer alan Mesh birimden yapılmaktadır. Mesh birimi içersinde analizde kulanılabilmesi için

birden fazla mesh metodu yer almaktadır. Ayrıca oluşturulacak sonlu eleman modelinin kalitesinin arttırılabilmesi için gelişmiş boyut işlevleri gibi sekmeler yer almaktadır.

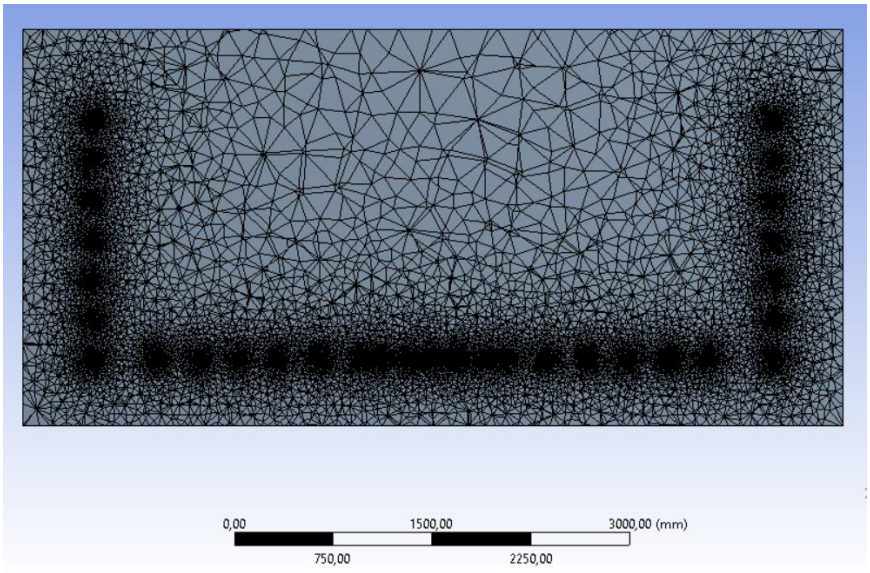
2.4.1.1. Ağ Elemanı için Sonlu Elemanlar Modellemesi

Ağ elemanında sonlu elemanlar modellemesi yapılırken Body Sizing tanımlanarak 10 mm boyutlu elemanlar oluşturuldu. Bölüm 2.2.' de bahsedilen Enclosure yapısının eleman boyutları ile ilgili bir düzenleme yapılmadan boyutlar program kontrolüne bırakıldı ve bu yapı Hazne olarak yeniden adlandırıldı. Temas yüzeylerindeki mesh kalitesinin arttırılması ve daha kaliteli bir mesh yapısının oluşturulabilmesi için Use Advenced Size Function olarak Curvature seçeneği aktif hale getirildi. Son olarak mesh sayısını azaltarak analiz kolaylığı sağlaması adına Relevance değeri -100 olarak tanımlandı.

Kullanılan bu parametreler sonucunda ağ elemanı için 525566 eleman ve 191391 düğüm noktası elde edildi. Hazne elemanı için ise 13605752 eleman ve 2345575 düğüm noktası elde edildi. Bütün sistemde ise toplam 14131318 eleman ve 2373638 düğüm noktası elde edildi. Mesh Metric kısmında yer alan Element Quality seçeneği aktif hale getirildiğinde ortalama mesh kalite değeri 0,83978 olarak hesaplandı.



Şekil 17. Ağ elemanı mesh yapısı

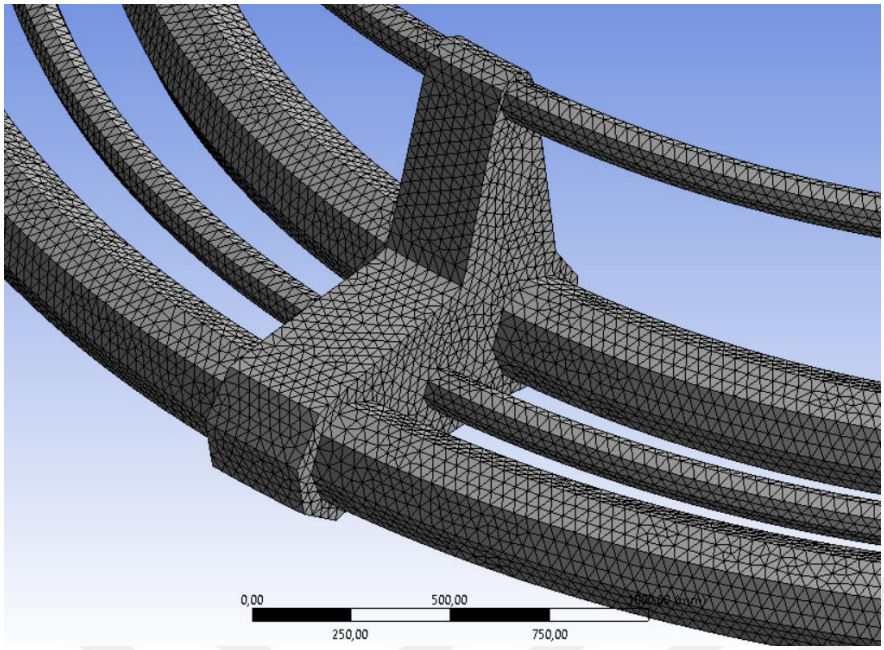


Şekil 18. Ağ elemanı mesh iç yapısı

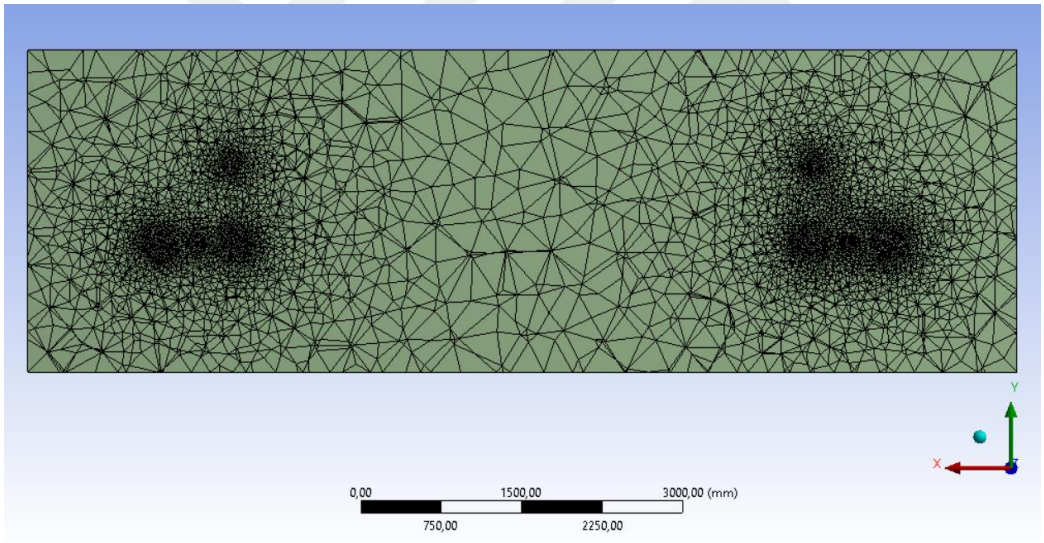
2.4.1.2. Yüzdürme Elemanı için Sonlu Elemanlar Modellemesi

Yüzdürme elemanında sonlu elemanlar modellemesi yapılırken Body Sizing tanımlanarak 35 mm boyutlu elemanlar oluşturuldu. Ağ elemanında olduğu gibi Enclosure yapısının eleman boyutları ile ilgili bir düzenleme yapılmadan boyutlar program kontrolüne bırakıldı ve bu yapı Hazne olarak yeniden adlandırıldı. Yine aynı şekilde daha kaliteli bir mesh yapısının oluşturulabilmesi için Use Advenced Size Function olarak Curvature seçeneği aktif hale getirildi. Son olarak mesh sayısını azaltarak analiz kolaylığı sağlaması adına Relevance değeri -20 olarak tanımlandı.

Kullanılan bu parametreler sonucunda yüzdürme elemanı için 682929 eleman ve 140971 düğüm noktası elde edildi. Hazne elemanı için ise 1819203 eleman ve 328669 düğüm noktası elde edildi. Bütün sistemde ise toplam 2502132 eleman ve 419644 düğüm noktası elde edildi. Mesh Metric kısmında yer alan Element Quality seçeneği aktif hale getirildiğinde ortalama mesh kalite değeri 0,83509 olarak hesaplandı.



Şekil 19. Yüzdürme elemanının mesh yapısı



Şekil 20. Yüzdürme elemanı mesh iç yapısı

2.4.2. FSI: Fluid Flow (Fluent) için Analiz Parametrelerinin Belirlenmesi

FSI: Fluid Flow (Fluent) yapısı için analiz parametrelerinin belirlenmesi işlemi fluent yapısının Setup kısmından yapılmaktadır. Setup kısmı açıldığında ilk olarak Fluent Launcher ekranı gelmektedir. Bu ekrandan işlemci ve hassasiyet ayarları yapılabilmektedir. Bu çalışmada Options seçeneği altında yer alan Double Precision seçeneği aktif edilmiştir. Analiz sonuçlarının daha hızlı ve doğru elde edilebilmesi için Processing Options kısmında yer alan Parallel Solver seçeneği seçilmiş ve Process değeri

12 olarak tanımlanmıştır. Böylelikle analizin yapılacak bilgisayarda yer alan 12 işlemcinin tamamı analiz sırasında kullanılacaktır.

Kullanılan viskoz modeli k-epsilon modelidir. Bu model standart duvar fonksiyonlarına ve varsayılan model sabitlerine sahip gerçekleştirilebilir bir model olarak tanımlanabilir. Modelde kullanılan sabitler $C_{1\varepsilon}$=1.44, C_2=1.9, σ_k=0,09 ve σ_ε=1.2 olarak programda tanımlıdır. Diğer ayarlar varsayılan olarak bırakılmıştır.

Materyal düzenlemesi yapılırken kullanılacak olan akışkan türü Fluent veri tabanında yer almaktadır. Materyal eklemek için Materials bölümünde yer alan Fluent Database kısmından water-liquid seçeneği seçilir. Analizde kullanılacak suyun varsayılan sabit viskosite değeri μ=0.001003 $kg/(m{\cdot}s)$ ve özgül ağırlığı 1025 kg/m^3 olarak programda tanımlıdır. Akışkan türü seçimi tamamlandıktan sonra Cell Zone Conditions kısmına gelerek kullanılacak akışkan hazne elemanına tanımlanır.

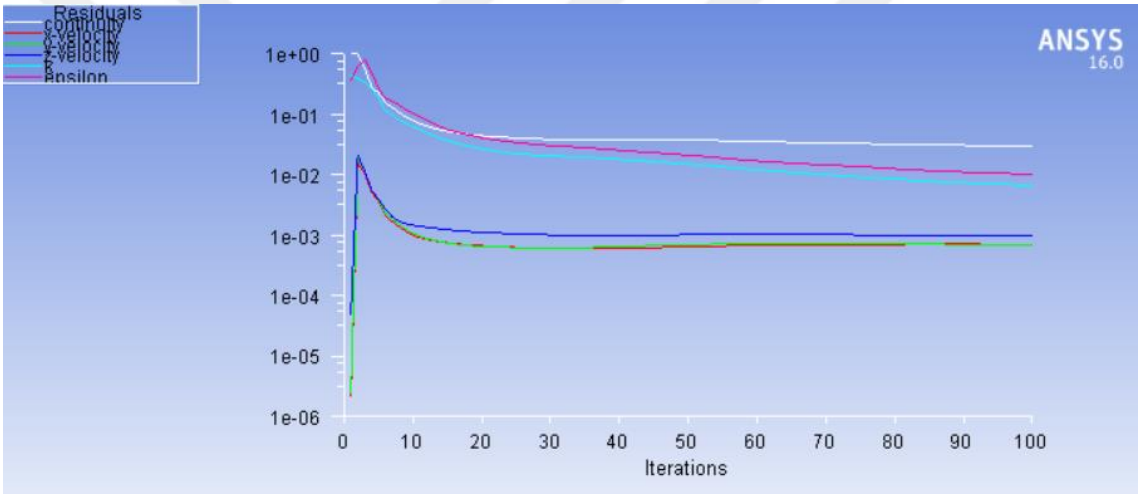
Bir sonraki adımda analizde kullanılacak olan sınır şartlarının belirlenmesi gerekmektedir. Sınır şartlarını belirleyebilmek için Boundary Conditions sekmesi altında yer alan Zone kısmında, daha önceden isimleri belirlenmiş olan yüzeylerin herbirine sınır şartı ataması yapılmalıdır. Akışkan, z ekseni boyunca inlet yüzeyinden outlet yüzeyine doğru hareket edecektir. Bu hareketin sağlanabilmesi için inlet bölümünde yer alan Velocitiy Magnitude değeri bu çalışmada kullanılan akışkan hızları olan 0,5 m/s, 0,7 m/s ve 1 m/s değerleri her analiz için ayrı ayrı girilmiştir. Yine aynı bölümde yer alan türbülans yoğunluğu değeri %5, türbülans viskozite oranı (μ_t/μ) 10 olarak tanımlanmıştır. Outlet yüzeyinde ise bir akış geçişi olmayacağı için sadece türbülans yoğunluğu ve türbülans viskozite oranı inlet ile aynı olacak şekilde tanımlanmıştır. Duvar olarak adlandırılan yüzeyler ise program tarafından Wall olarak tanımlanmıştır. Sınır şartlarının tanımlanması sırasında bütün analizler için basınç varsayılan olarak sabit bırakılmıştır.

2.4.3. FSI: Fluid Flow (Fluent) için Çözüm Ayarlarının Yapılması

FSI: Fluid Flow (Fluent) için çözüm ayarlarının yapılması işlemi Fluent biriminde yer alan Solution kısmından veya Setup kısmının devamından yapılabilmektedir. Basınç-hız bağlantısı seçeneği varsayılan olarak SIMPLE seçeneği ile yapılmıştır. SIMPLE algoritma, kütlenin korunmasını sağlamak ve basınç alanını elde etmek için hız ve basınç düzeltmeleri arasında bir ilişki kullanır. Gradyan methot 'Least Squares Cell Based', basınç ve momentum bölümleri 'Second Order', türbülanslı kinetik enerji ve türbülanslı

yayılma hızı ise ‘First Order’ olarak tanımlandı. Çözüme geçmeden son olarak çözüm başlatma işlemi, ‘Solution Initialization’ bölümünden düzenlenir. ‘Compute From’ kısmından inlet yüzeyi seçilir ve sınır şartları olarak daha önceden tanımlanan değerler çözüme tanımlanır.

Analizde kullanılacak olan basınca dayalı çözücü, yönetim sistemlerinin sırayla çözüldüğü bir çözüm algoritması kullanır. Yönetim denklemleri doğrusal değil bileşik olduğundan, yakın bir çözüm elde etmek adına çözüm döngüsü yinelemeli olarak gerçekleştirilmelidir. Bu yineleme işlemlerinin miktarını ‘Run Calculation’ sekmesinde yer alan ‘Number of Iterations’ bölümünden yapılmaktadır. Bu çalışmada ağ elemanı için ve yüzdürme elemanı için 100 yineleme yapılmıştır.



Şekil 21. Yüzdürme elemanı için 1 m/s hız altında oluşan Residual Monitors

2.5. Static Structural Bölümündeki İşlemlerin Yapılması

2.5.1. Analizlerde Kullanılacak Materyallerin Programa Tanımlanması

Analizlerde kullanılacak materyallerin programa tanımlanması işlemi Static Structural bölümünde yer alan Engineering Data sekmesinden yapılmaktadır. ANSYS Workbench analizlerde kullanılabilmesi için birçok farklı malzemenin fiziksel özelliklerini bünyesinde barındırmaktadır. Ancak bu çalışmada kullanılacak olan materyaller ANSYS Workbench veri tabanında bulunmamaktadır. Bu nedenle materyallerin ayrı ayrı ANSYS veri tabanına tanımlanması gerekmektedir. Materyal

tanımlama işlemi için malzemeleri elastisite modülleri, poisson oranları ve yoğunlukları kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin özelikleri RTP Company veri setinden alınmıştır.

Tablo 1. Ağ elemanda kullanılan materyal özellikleri

Malzeme adı	Açıklama	Yoğunluk [$kg/m3$]	Elastisite Modülü [MPa]	Poisson Oranı [-]
Nylon PA6	Takviyesiz	1158	2900	0,39
Nylon PA6	%30 cam elyaf takviye	1350	9800	0,39
Polyethylene Terephthalate (PET)	Takviyesiz	1380	3000	0,39
Polyurethane elastomer	%30 cam elyaf takviye	1476	3103	0,39

Tablo 2. Yüzdürme elemanda kullanılan materyal özellikleri

Malzeme adı	Açıklama	Yoğunluk [$kg/m3$]	Elastisite Modülü [MPa]	Poisson Oranı [-]
High Density Polyetylene (HDPE)	Takviyesiz	950	1000	0,46

2.5.2. Mekanik ve Sonlu Elemanlar Modellemelerinin Yapılması

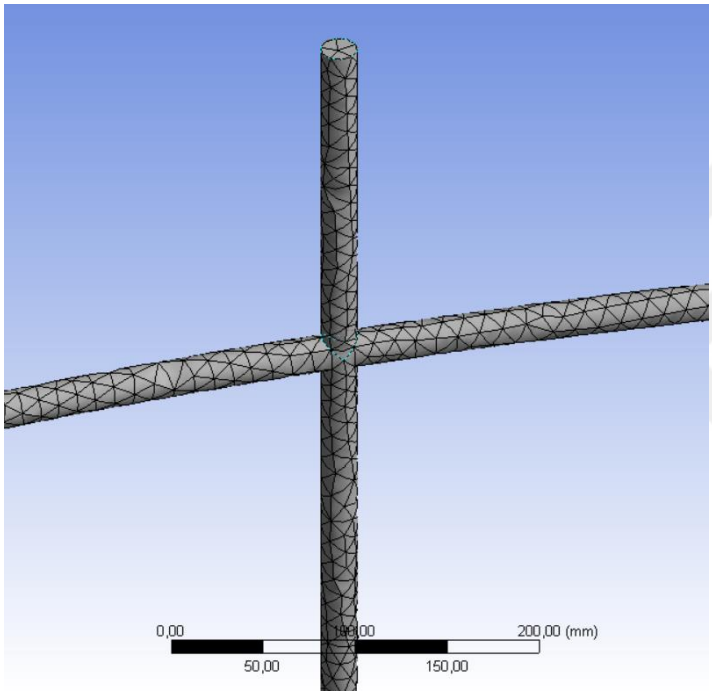
Fluent bölümündeki işlemler tamamlandıktan ve gerekli sonuçlar alındıktan sonra, yapılması gereken işlem Static Structural modellemesinin yapılmasıdır. Bu aşamada her iki eleman için kullanılacak malzemelerin tanımlanması, elemanlara etkiyecek yüklerin belirlenmesi, mesnet yüzeylerinin tanımlanması gibi mekanik işlemler yapılmaktadır. Bu modelleme işlemi Static Structural bölümünde yer alan Model sekmesinden yapılmaktadır. Analizlerde kullanılan geometriler Şekil 13. ve Şekil 14.' de gösterildiği üzere bütün sistem için paylaşılmaktadır. Böylece Static Structural bölümü için yeniden bir geometri tanımlaması yapılmasına gerek yoktur.

2.5.2.1. Ağ Elemanı için Mekanik ve Sonlu Elemanlar Modellemelerinin Yapılması

Ağ elemanı için mekanik modelleme yapılırken daha önce Hazne olarak adlandırılan yapı bastırılarak devam eden süreçlerde dikkate alınmayacaktır. Hazne

elemanı ile ilgili herhangi bir sonuç elde edilmeyeceği için bu işlem genel analizin sonuçlarını etkilemeyecektir.

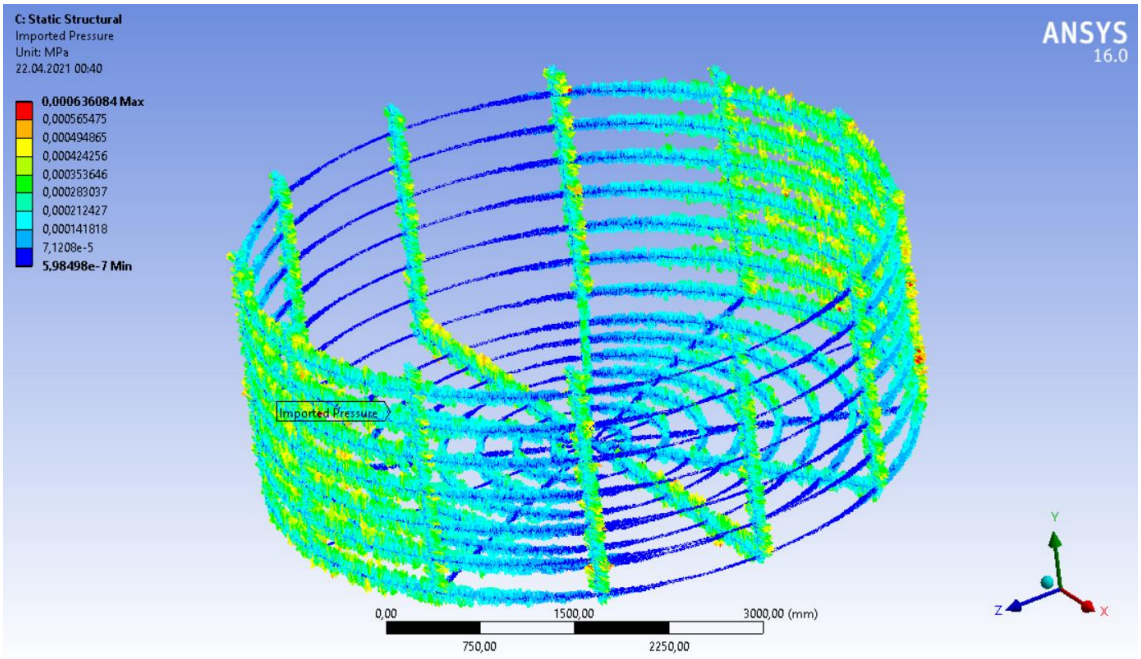
Ağ için sonlu elemanlar modellemesi yapılırken element boyutlandırma ile ilgili bir işlem yapılmayıp program kontrolüne bırakıldı. Advanced Size Function olarak Curvature seçeneği aktif hale getirildi. Oluşturulan sonlu eleman yapısında 314980 eleman ve 666175 düğüm noktası elde edildi. Element Quality seçeneği aktif hale getirildiğinde ortalama mesh kalite değeri 0, 90294 olarak hesaplandı.



Şekil 22. Ağ elemanı sonlu elemanlar yapısı

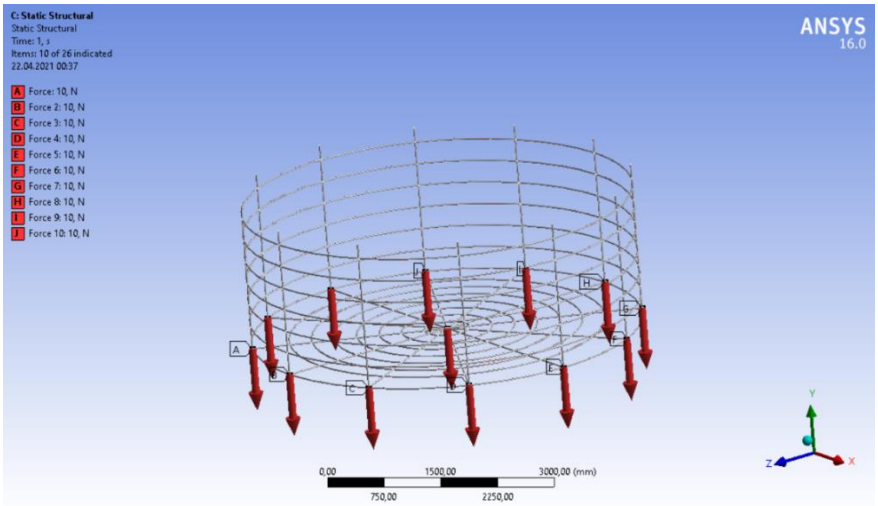
Sonlu elemanlara bölünme işleminin ardından sisteme etkiyecek mekanik yüklerin geometriye tanımlanması işlemi yapılmıştır. Ağ yapısının üst bölgesindeki toplam 12 farklı yüzeye analiz sırasında sabit bir dayanak oluşturması için mesnet tanımlaması yapılmıştır. Ağın alt yüzeylerindeki düğüm notalarına uygulamada kullanılan ve ağın akıntı karşısında salınım yapmasını kısıtlayan ve sabit pozisyonda suya batmasını sağlayan ağırlıklara karşılık gelen 10 Newton'luk yükler tanımlanmıştır. Son işlem olarak ise Fluent bölümünde yaptığımız analizlerin sonucunda ortaya çıkan basınçların Static Structural bölümüne aktarımı yapılmalıdır. Basınç yüklerini aktarabilmek için Imported Load sekmesine Pressure bölümü eklenmelidir. Pressure detaylarında ağ elemanın yüzeyinin tamamı seçilerek önceden hesaplanan basınç değerinin ağ yüzeyinin tamamına dağılması sağlanmıştır. Bu işlem kullanılan bilgisayarın performansı geometri

büyüklüğü, sonlu eleman sayısı gibi faktörlere göre değişmekle birlikte bu çalışmada basınç aktarımı ortalama 6 saat sürmüştür.



Şekil 23. 1 *m/s* hız için ağ elemanına aktarılan basınç

Şekil 23. incelendiğinde görülecektir ki geometriye z ekseni boyunca akıntı verilmesine rağmen bütün eksenlerde basınç oluşmuştur. Basınç aktarımı sırasında yapılan bir hata eksen yönlerinde etkiyecek basınçların aktarılmasını aksatacağından genel analiz sonucu hatalı olacaktır. Bu nedenle basınç aktarımı işlemine azami önem verilmeli ve aktarılan basınç dikkatlice kontrol edilmelidir.



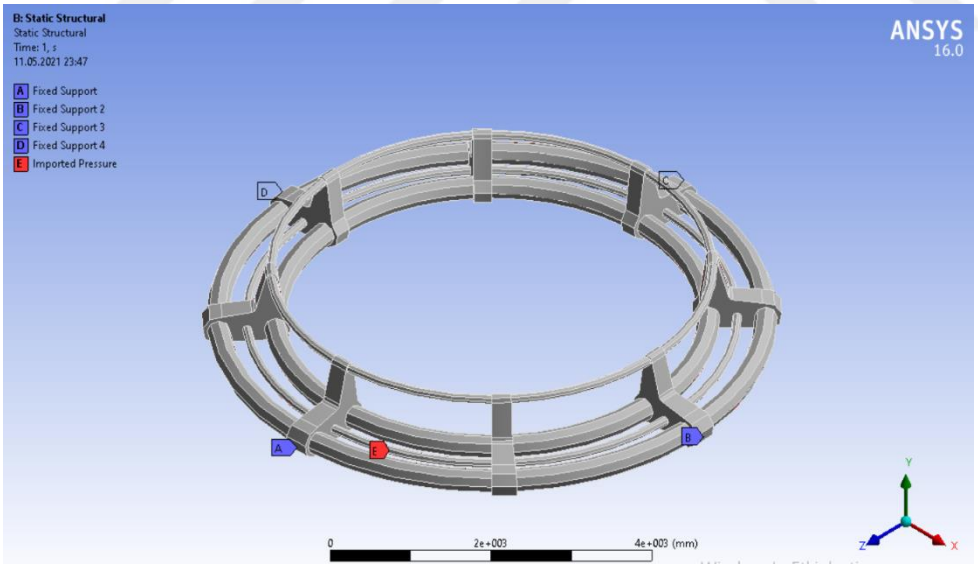
Şekil 24. Ağ elemanı için yüklerin ve mesnetlerin eklenmiş hali

2.5.2.2. Yüzdürme Elemanı için Mekanik ve Sonlu Elemanlar Modellemelerinin Yapılması

Yüzdürme elemanı için mekanik modelleme yapılırken, ağ elemanda yapıldığı gibi Hazne olarak adlandırılan yapı bastırılarak devam eden süreçlerde dikkate alınmayacaktır.

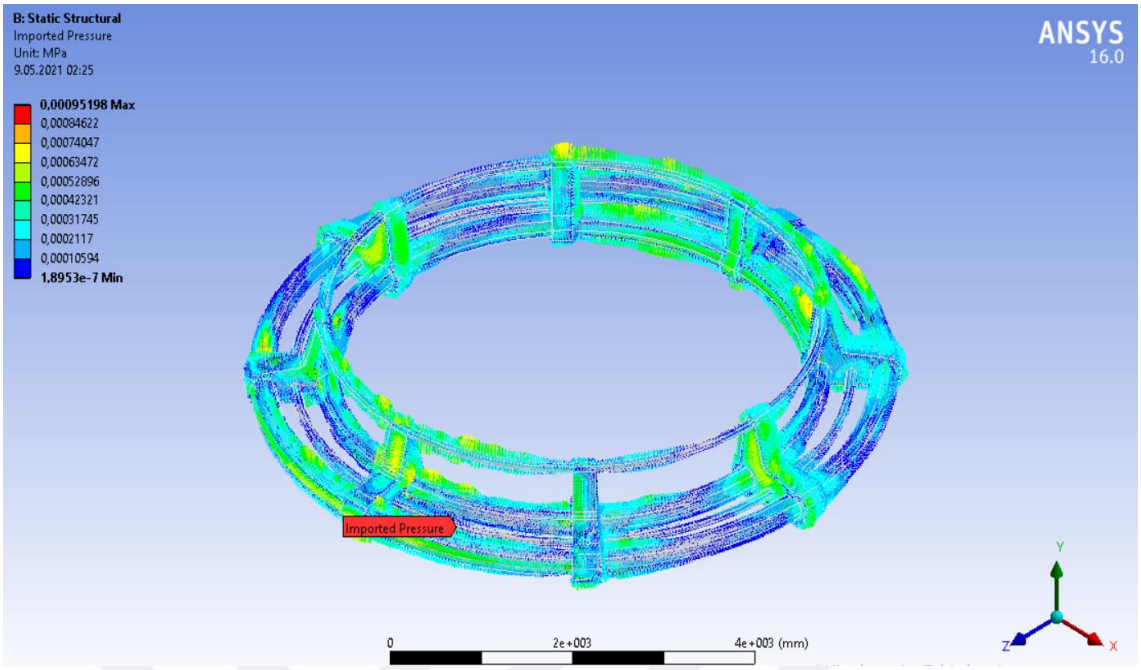
Yüzdürme elemanı için sonlu elemanlar modellemesi yapılırken Body Sizing tanımlanarak sonlu eleman boyutu 35 mm olarak belirlendi. Advanced Size Function olarak Curvature seçeneği aktif hale getirildi. Oluşturulan sonlu eleman yapısında 649991 eleman ve 954702 düğüm noktası elde edildi. Element Quality seçeneği aktif hale getirildiğinde ortalama mesh kalite değeri 0,83739 olarak hesaplandı.

Uygulamada yüzdürme elemanı daha önce bahsedildiği üzere çapalar ve halatlar ile sabitlenmektedir. Bu bağlama işlemini simüle edebilmek ve sonuçları pozitif yönde etkilemesi amacıyla birbirine dik dört farklı yüzeye mesnet tanımlaması yapıldı. Bu mesnetler akıntı etkisi altında elemanın hareketini kısıtlayacak ve analizde daha doğru sonuç elde edilmesini sağlayacaktır.



Şekil 25. Yüzdürme elemanı için mesnetlerin eklenmiş hali

Ağ elemanında olduğu gibi yüzdürme içinde daha önce Fluent bölümünde elde edilen basınçların aktarılması gerekmektedir. Yüzdürme elemanı için sonlu eleman sayısı ağ elemanına göre daha düşük olduğu için basınçların aktarılması işlemi ortalama 2 saat sürmüştür.



Şekil 26. 1 m/s hız için yüzdürme elemanına aktılan basınç

3. BULGULAR

ANSYS Workbench'de FSI: Fluid Flow (Fluent) analizlerinin sonuçları Static Structural kısmında yer alan Results sekmesinden görüntülenir. Aynı şekilde Fluent kısmında yer alan Results sekmesinden de sonuçlar görülebilir ancak bu kısımda görülen sonuçlar analizin yapılacağı cismin mekanik özelliklerini ve Models sekmesinde tanımlanan mesnetler, ağırlıklar gibi sonradan dahil edilen bileşenleri hesaba katmaz. En önemlisi ise cisme uygulanacak basınç Static Structural kısmında tanımlanır ve her malzeme için ayrı sonuçlar elde edilir.

Bu çalışmada cisimlerin Tablo 3.' de verilen ve akıntıdan kaynaklanan basınç altındaki von-Mises gerilme değerleri, şekil değiştirme değerleri ve yer değiştirme değerleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Son olarak ilerleyen bölümlerde şekillerin düzeni açısından ağ elemanında kullanılan materyallerin kısaltmaları aşağıda verilmiştir(Tablo 4.).

Tablo 3. Fluent kısmında hesaplanan ve Static Structural kısmına aktarılan basınç değerleri (Pa)

	Akıntı hızı (m/s)		
	0,5	0,7	1
Ağ	150,95	296,9	636,08
Yüzdürme	117,36	463,05	951,198

Tablo 4. Ağ elemanda kullanılan malzemelerin kısaltmaları

Malzeme adı	Açıklama	Kısaltma
Nylon PA6	Takviyesiz	M1
Nylon PA6	%30 cam elyaf takviye	M2
Polyethylene Terephthalate (PET)	Takviyesiz	M3
Polyurethane elastomer	%30 cam elyaf takviye	M4

3.1. Ağ Eleman İçin Elde Edilen Sonuçlar

Ağ elemanda daha öncede bahsedildiği üzere üç farklı akıntı hızı değeri altında dört farklı materyal (Tablo 1.) kullanılarak sonlu elemanlar analizi yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar ilerleyen bölümlerde detaylı olarak gösterilmiştir.

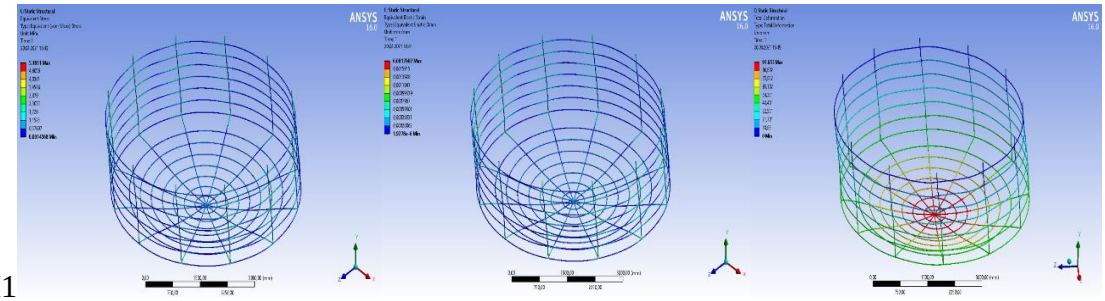
3.1.1. 0,5 m/s Akıntı Hızı Altında Ağ Eleman İçin Elde Edilen Sonuçlar

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, ağ elemanda 0,5 m/s akıntı hızı altında oluşan maksimum von-Mises gerilme değeri, ağ malzemesi olarak Nylon PA6 kullanıldığında 5,1811 MPa, Nylon PA6 (%30 cam elyaf takviyeli) kullanıldığında 5,1767 MPa, Polyethylene Terephthalate (PET) kullanıldığında 5,176 MPa, Polyurethane elastomer kullanıldığında 5,1739 MPa olarak hesaplanmıştır(Şekil 27.).

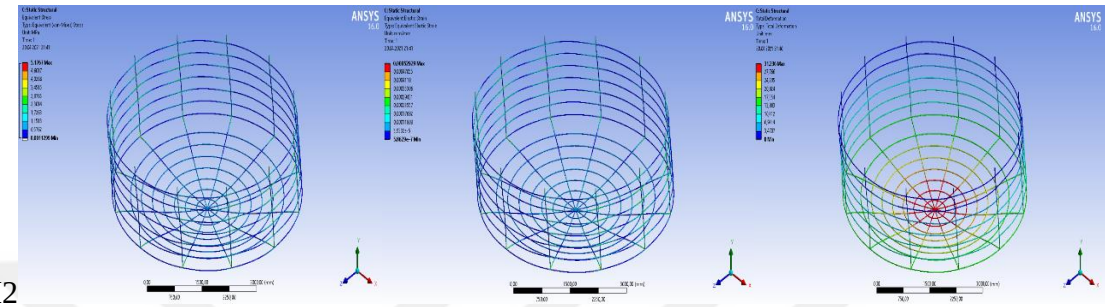
Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, ağ elemanda 0,5 m/s akıntı hızı altında oluşan maksimum şekil değiştirme değeri, ağ malzemesi olarak Nylon PA6 kullanıldığında $1{,}7902 \times 10^{-3}$, Nylon PA6 (%30 cam elyaf takviyeli) kullanıldığında $5{,}2929 \times 10^{-4}$, Polyethylene Terephthalate (PET) kullanıldığında $1{,}7288 \times 10^{-3}$, Polyurethane elastomer kullanıldığında $1{,}6707 \times 10^{-3}$ olarak hesaplanmıştır(Şekil 27.).

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, ağ elemanda 0,5 m/s akıntı hızı altında oluşan maksimum şekil değiştirme değeri, ağ malzemesi olarak Nylon PA6 kullanıldığında 97,653 mm, Nylon PA6 (%30 cam elyaf takviyeli) kullanıldığında 31,236 mm, Polyethylene Terephthalate (PET) kullanıldığında 103,25 mm, Polyurethane elastomer kullanıldığında 103,6 mm olarak hesaplanmıştır(Şekil 27.).

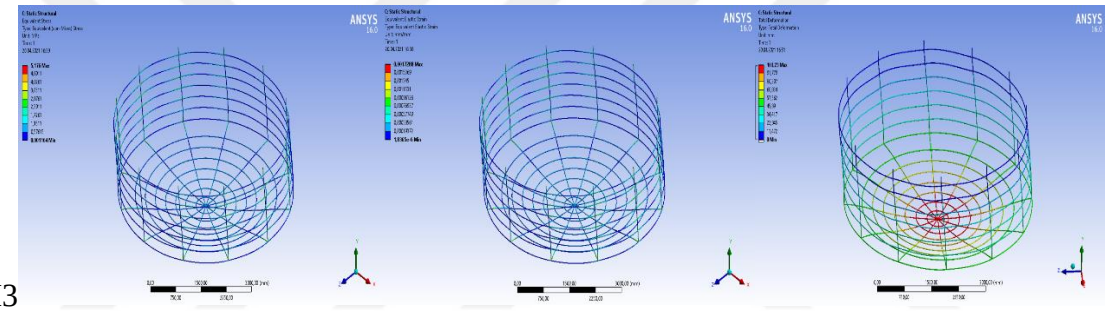
M1



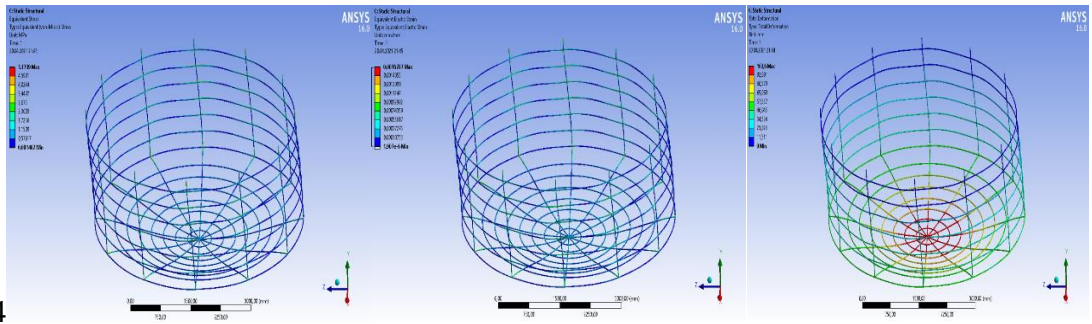
M2



M3



M4



Şekil 27. 0,5 m/s akıntı hızı altında ağ elemanı için hesaplanan soldan sağa sırasıyla von-Mises gerilme değerleri(MPa), şekil değiştirme değerleri ve yer değiştirme değerleri(mm)

Ağ elemanının 0,5 m/s akıntı hızı için elde edilen gerilme, şekil değitirme ve yer değiştirmelerin maksimum değerleri Tablo 5' te verilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde görülecektir ki gerilme bütün materyaller için çok yakın değerlerdedir. En büyük şekil değiştirme Nylon PA6 materyalinde olmasına karşın en büyük yer değiştirme Polyurethane elastomer kullanıldığında meydana gelmiştir.

Tablo 5. Ağ eleman 0,5 m/s akıntı hızı için elde eldilen sonuçlar

Malzeme adı	Açıklama	Max von-Mises gerilme değeri (MPa)	Max Şekil Değiştirme	Max Toplam Yer Değiştirme [mm]
Nylon PA6	Takviyesiz	5,1811	$1{,}7902 \times 10^{-3}$	97,653
Nylon PA6	%30 cam elyaf takviye	5,1767	$5{,}2929 \times 10^{-4}$	31,236
Polyethylene Terephthalate (PET)	Takviyesiz	5,176	$1{,}7288 \times 10^{-3}$	103,25
Polyurethane elastomer	%30 cam elyaf takviye	5,1739	$1{,}6707 \times 10^{-3}$	103,6

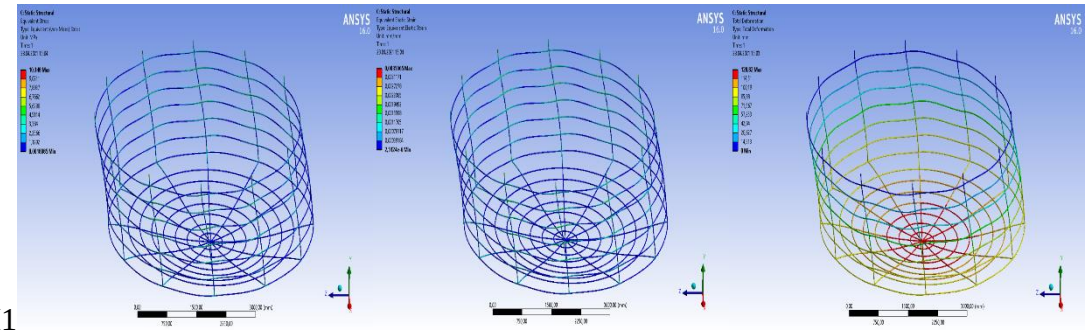
3.1.2. 0,7 m/s Akıntı Hızı Altında Ağ Eleman İçin Elde Edilen Sonuçlar

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, ağ elemanda 0,7 m/s akıntı hızı altında oluşan maksimum von-Mises gerilme değeri, ağ malzemesi olarak Nylon PA6 kullanıldığında 10,148 MPa, Nylon PA6 (%30 cam elyaf takviyeli) kullanıldığında 10,144 MPa, Polyethylene Terephthalate (PET) kullanıldığında 10,143 MPa, Polyurethane elastomer kullanıldığında 10,141 MPa olarak hesaplanmıştır(Şekil 28.).

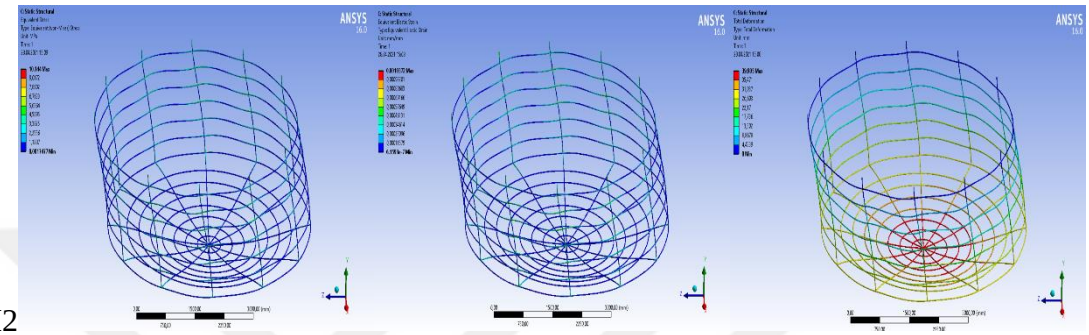
Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, ağ elemanda 0,7 m/s akıntı hızı altında oluşan maksimum şekil değiştirme değeri, ağ malzemesi olarak Nylon PA6 kullanıldığında $3{,}5065 \times 10^{-3}$, Nylon PA6 (%30 cam elyaf takviyeli) kullanıldığında $1{,}0372 \times 10^{-3}$, Polyethylene Terephthalate (PET) kullanıldığında $3{,}3879 \times 10^{-3}$, Polyurethane elastomer kullanıldığında $3{,}2747 \times 10^{-3}$ olarak hesaplanmıştır(Şekil 28.).

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, ağ elemanda 0,7 m/s akıntı hızı altında oluşan maksimum şekil değiştirme değeri, ağ malzemesi olarak Nylon PA6 kullanıldığında 128,82 mm, Nylon PA6 (%30 cam elyaf takviyeli) kullanıldığında 39,905 mm, Polyethylene Terephthalate (PET) kullanıldığında 131,3 mm, Polyurethane elastomer kullanıldığında 129,91 mm olarak hesaplanmıştır(Şekil 28.).

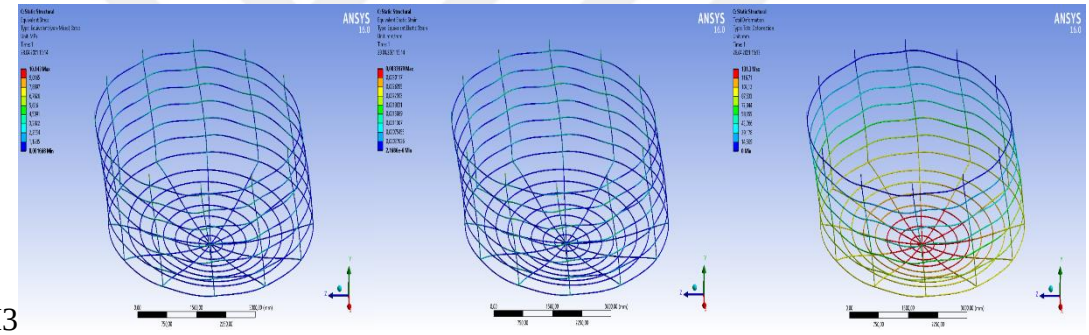
M1



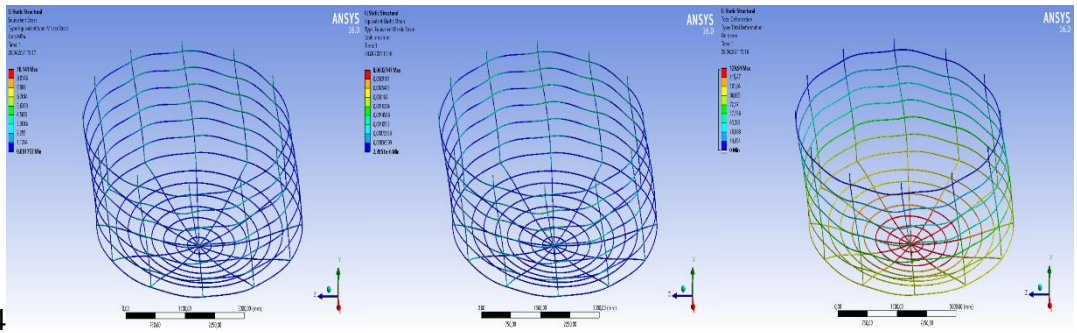
M2



M3



M4



Şekil 28. 0,7 m/s akıntı hızı altında ağ elemanı için hesaplanan soldan sağa sırasıyla von-Mises gerilme değerleri(MPa), şekil değiştirme değerleri ve yer değiştirme değerleri(mm)

Ağ elemanının 0,7 m/s akıntı hızı için elde edilen gerilme, şekil değitirme ve yer değiştirmelerin maksimum değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6 incelendiğinde bütün malzemeler için gerilmelerin çok yakın değerlerde olduğu görülecektir. En büyük şekil değiştirme Nylon PA6 materyalinde meydana gelmesine karşın en büyük yer değiştirme Polyethylene Terephthalate (PET) materyali kullanıldığında meydana gelmiştir.

Tablo 6. Ağ eleman 0,7 m/s akıntı hızı için elde eldilen sonuçlar

Malzeme adı	Açıklama	Max von-Mises gerilme değeri (MPa)	Max Şekil Değiştirme	Max Toplam Yer Değiştirme [mm]
Nylon PA6	Takviyesiz	10,148	$3{,}5065 \times 10^{-3}$	128,82
Nylon PA6	%30 cam elyaf takviye	10,144	$1{,}0372 \times 10^{-3}$	39,905
Polyethylene Terephthalate (PET)	Takviyesiz	10,143	$3{,}3879 \times 10^{-3}$	131,3
Polyurethane elastomer	%30 cam elyaf takviye	10,141	$3{,}2747 \times 10^{-3}$	129,91

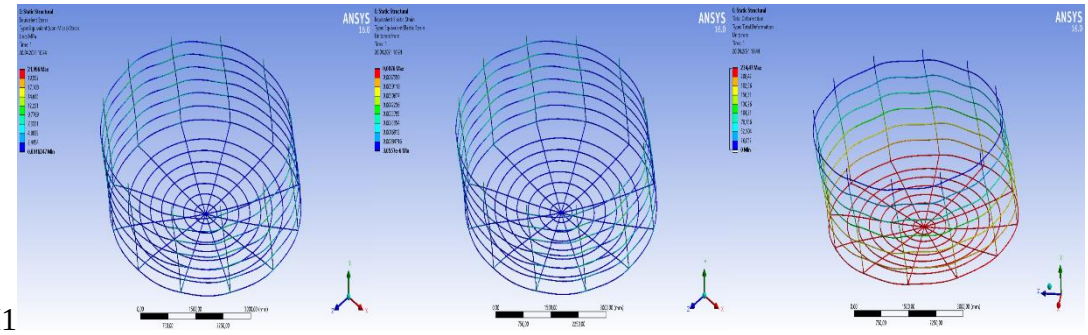
3.1.3. 1 m/s Akıntı Hızı Altında Ağ Eleman İçin Elde Edilen Sonuçlar

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, ağ elemanda 1 m/s akıntı hızı altında oluşan maksimum von-Mises gerilme değeri, ağ malzemesi olarak Nylon PA6 kullanıldığında 21,996 MPa, Nylon PA6 (%30 cam elyaf takviyeli) kullanıldığında 21,992 MPa, Polyethylene Terephthalate (PET) kullanıldığında 21,991 MPa, Polyurethane elastomer kullanıldığında 21,989 MPa olarak hesaplanmıştır(Şekil 29.).

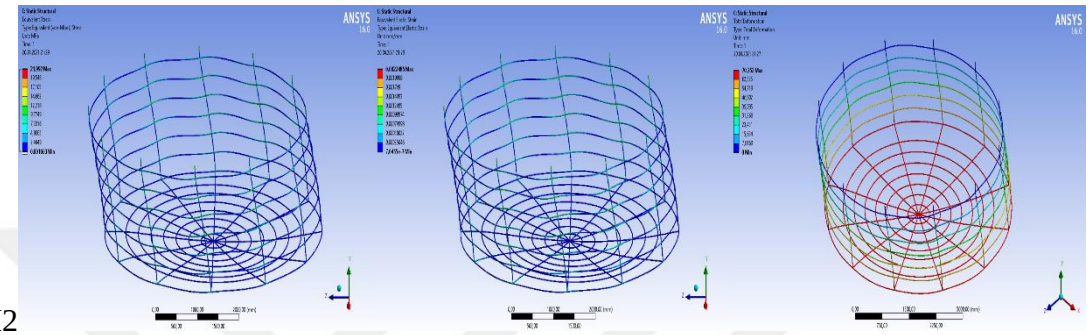
Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, ağ elemanda 1 m/s akıntı hızı altında oluşan maksimum şekil değiştirme değeri, ağ malzemesi olarak Nylon PA6 kullanıldığında $7{,}6 \times 10^{-3}$, Nylon PA6 (%30 cam elyaf takviyeli) kullanıldığında $2{,}2485 \times 10^{-3}$, Polyethylene Terephthalate (PET) kullanıldığında $7{,}345 \times 10^{-3}$, Polyurethane elastomer kullanıldığında $7{,}1005 \times 10^{-3}$ olarak hesaplanmıştır(Şekil 29.).

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, ağ elemanda 1 m/s akıntı hızı altında oluşan maksimum şekil değiştirme değeri, ağ malzemesi olarak Nylon PA6 kullanıldığında 234,47 mm, Nylon PA6 (%30 cam elyaf takviyeli) kullanıldığında 70,352 mm, Polyethylene Terephthalate (PET) kullanıldığında 230,34 mm, Polyurethane elastomer kullanıldığında 224,35 mm olarak hesaplanmıştır(Şekil 29.).

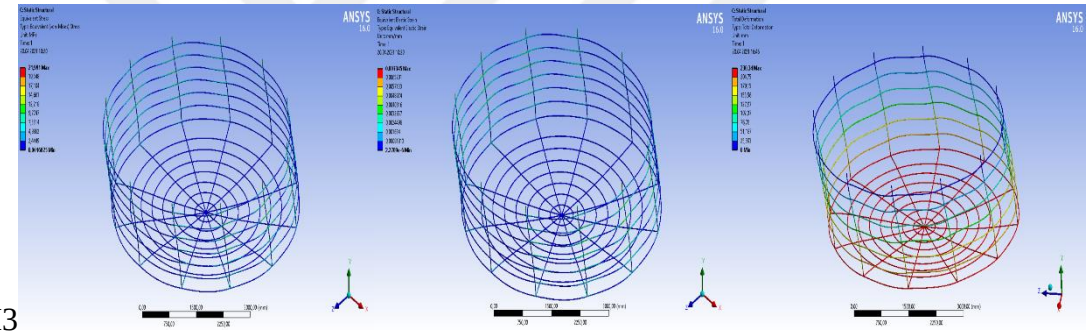
M1



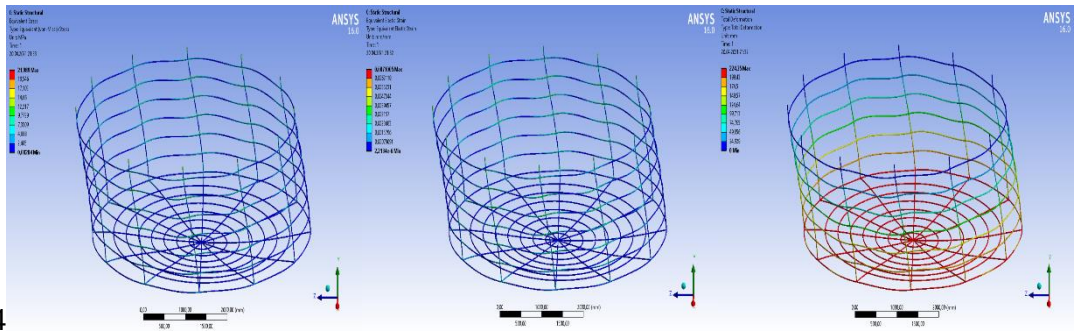
M2



M3



M4



Şekil 29. 1 m/s akıntı hızı altında ağ elemanı için hesaplanan soldan sağa sırasıyla von-Mises gerilme değerleri(MPa), şekil değiştirme değerleri ve yer değiştirme değerleri(mm)

Ağ elemanının 1 m/s akıntı hızı için elde edilen gerilme, şekil değitirme ve yer değiştirmelerin maksimum değerleri Tablo 7'da verilmiştir. Tablo 7 incelendiğinde bütün malzemeler için gerilmelerin çok yakın değerlerde olduğu görülecektir. En büyük şekil değiştirme ve en büyük yer değitirme Nylon PA6 materyali kullanıldığında meydana gelmiştir.

Tablo 7. Ağ eleman 1 m/s akıntı hızı için elde eldilen sonuçlar

Malzeme adı	Açıklama	Max von-Mises gerilme değeri (MPa)	Max Şekil Değiştirme	Max Toplam Yer Değiştirme [mm]
Nylon PA6	Takviyesiz	21,996	$7{,}6x10^{-3}$	234,47
Nylon PA6	%30 cam elyaf takviye	21,992	$2{,}2485x10^{-3}$	70,352
Polyethylene Terephthalate (PET)	Takviyesiz	21,991	$7{,}345x10^{-3}$	230,34
Polyurethane elastomer	%30 cam elyaf takviye	21,989	$7{,}1005x10^{-3}$	224,35

3.2. Yüzdürme Elemanı İçin Elde Edilen Sonuçlar

Yüzdürme elemanında daha öncede bahsedildiği üzere üç farklı akıntı hızı değeri altında Tablo 2.'de özellikleri belirtilen materyal kullanılarak sonlu elemanlar analizi yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar ilerleyen bölümlerde detaylı olarak gösterilmiştir.

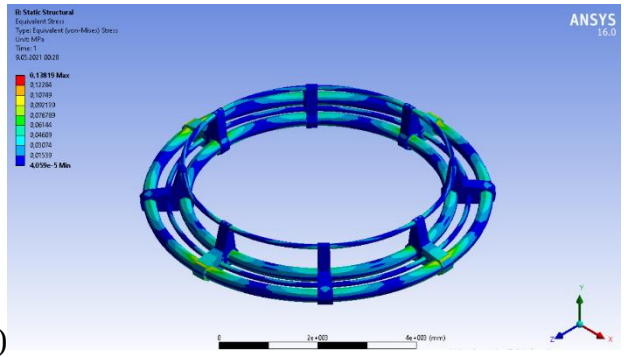
3.2.1. 0,5 m/s Akıntı Hızı Altında Yüzdürme Elemanı İçin Elde Edilen Sonuçlar

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, yüzdürme elemanıda 0,5 m/s akıntı hızı altında High Density Polyetylene (HDPE) materyali kullanıldığında oluşan maksimum von-Mises gerilme değeri 0,13819 MPa olarak hesaplanmıştır(Şekil 30.,a).

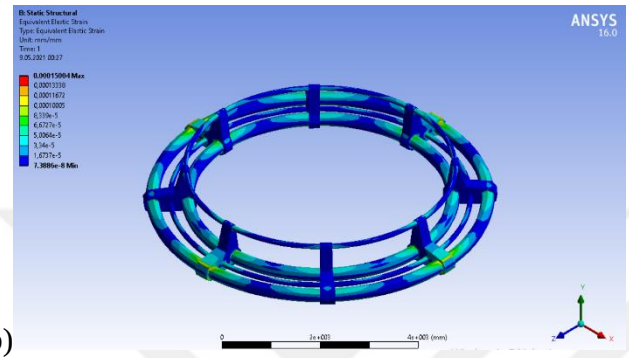
Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, yüzdürme elemanıda 0,5 m/s akıntı hızı altında High Density Polyetylene (HDPE) materyali kullanıldığında oluşan maksimum şekil değiştirme değeri $1{,}5x10^{-4}$ olarak hesaplanmıştır(Şekil 30.,b).

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, yüzdürme elemanıda 0,5 m/s akıntı hızı altında High Density Polyetylene (HDPE) materyali kullanıldığında oluşan maksimum yer değiştirme değeri 0,75968 mm olarak hesaplanmıştır(Şekil 30.,c).

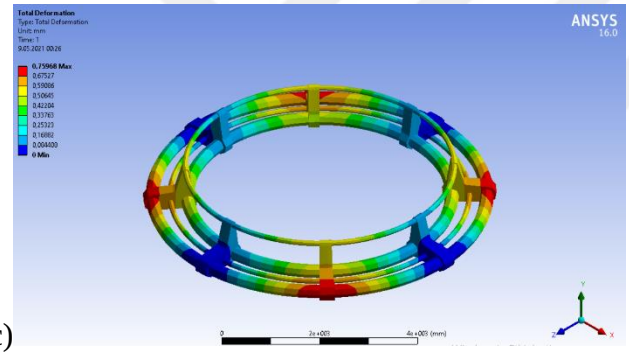
a)



b)



c)



Şekil 30. 0,5 m/s akıntı hızı altında yüzdürme elemanı için hesaplanan a) von-Mises gerilme değerleri (MPa), b) şekil değiştirme değerleri, c) yer değiştirme değerleri(mm)

Tablo 8'de yüzdürme elemanı için 0,5 m/s akıntı hızında High Density Polyetylene (HDPE) materyali kullanılarak elde edilen sonuçlar birlikte verilmiştir.

Tablo 8. Yüzdürme elemanı 0,5 m/s akıntı hızı için elde eldilen sonuçlar

Malzeme adı	Açıklama	Max von-Mises gerilme değeri (MPa)	Max Şekil Değiştirme	Max Toplam Yer Değiştirme [mm]
High Density Polyetylene (HDPE)	Takviyesiz	0,13819	$1,5x10^{-4}$	0,75968

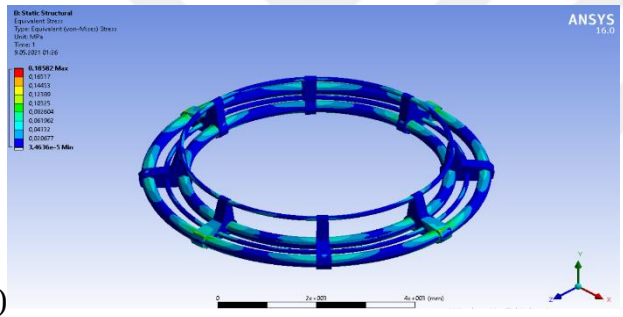
3.2.2. 0,7 m/s Akıntı Hızı Altında Yüzdürme Elemanı İçin Elde Edilen Sonuçlar

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, yüzdürme elemanıda 0,7 m/s akıntı hızı altında High Density Polyetylene (HDPE) materyali kullanıldığında oluşan maksimum von-Mises gerilme değeri 0,18582 MPa olarak hesaplanmıştır(Şekil 31.,a)

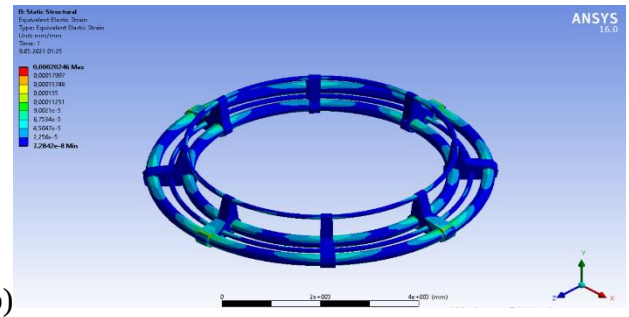
Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, yüzdürme elemanıda 0,7 m/s akıntı hızı altında High Density Polyetylene (HDPE) materyali kullanıldığında oluşan maksimum şekil değiştirme değeri 2,0246x10^{-4} olarak hesaplanmıştır(Şekil 31.,b).

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, yüzdürme elemanıda 0,7 m/s akıntı hızı altında High Density Polyetylene (HDPE) materyali kullanıldığında oluşan maksimum yer değiştirme değeri 0,79958 mm olarak hesaplanmıştır(Şekil 31.,c).

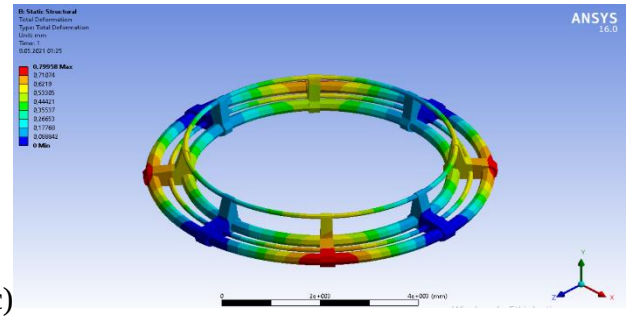
a)



b)



c)



Şekil 31. 0,7 m/s akıntı hızı altında yüzdürme elemanı için hesaplanan a) von-Mises gerilme değerleri(MPa), b) şekil değiştirme değerleri, c) yer değiştirme değerleri(mm)

Tablo 9'da yüzdürme elemanı için 0,7 m/s akıntı hızında High Density Polyetylene (HDPE) materyali kullanılarak elde edilen sonuçlar birlikte verilmiştir.

Tablo 9. Yüzdürme elemanı 0,7 m/s akıntı hızı için elde eldilen sonuçlar

Malzeme adı	Açıklama	Max von-Mises gerilme değeri (MPa)	Max Şekil Değiştirme	Max Toplam Yer Değiştirme [mm]
High Density Polyetylene (HDPE)	Takviyesiz	0,18582	$2,0246x10^{-4}$	0,79958

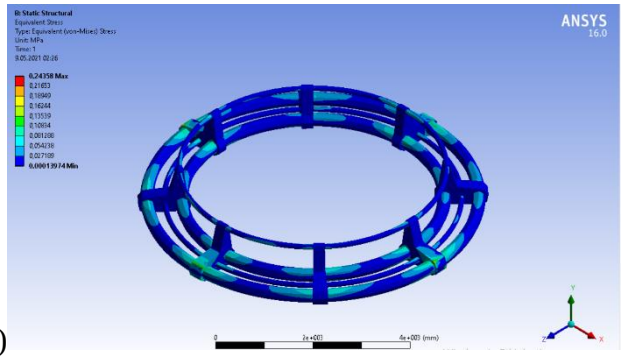
3.2.3. 1 m/s Akıntı Hızı Altında Yüzdürme Elemanı İçin Elde Edilen Sonuçlar

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, yüzdürme elemanıda 1 m/s akıntı hızı altında High Density Polyetylene (HDPE) materyali kullanıldığında oluşan maksimum von-Mises gerilme değeri 0,24358 MPa olarak hesaplanmıştır(Şekil 32,a).

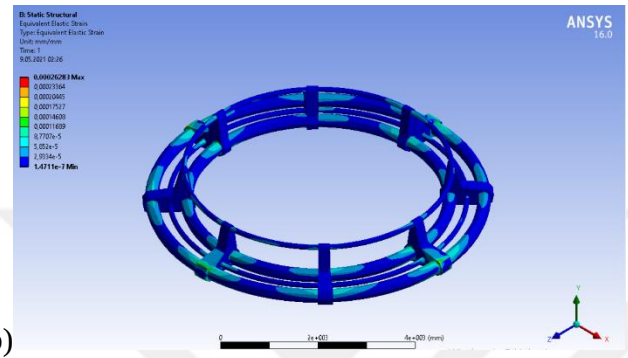
Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, yüzdürme elemanıda 1 m/s akıntı hızı altında High Density Polyetylene (HDPE) materyali kullanıldığında oluşan maksimum şekil değiştirme değeri $2,6283x10^{-4}$ olarak hesaplanmıştır(Şekil 32,b).

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre, yüzdürme elemanıda 1 m/s akıntı hızı altında High Density Polyetylene (HDPE) materyali kullanıldığında oluşan maksimum yer değiştirme değeri 0,84801 mm olarak hesaplanmıştır(Şekil 32,c).

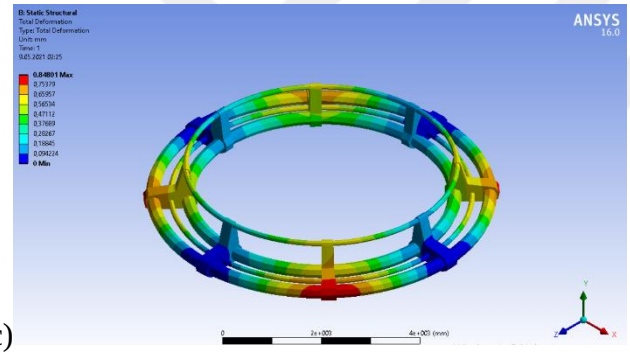
a)



b)



c)



Şekil 32. 1 m/s akıntı hızı altında yüzdürme elemanı için hesaplanan a) von-Mises gerilme değerleri(MPa), b) şekil değiştirme değerleri, c) yer değiştirme değerleri(mm)

Tablo 10'da yüzdürme elemanı için 1 m/s akıntı hızında High Density Polyetylene (HDPE) materyali kullanılarak elde edilen sonuçlar birlikte verilmiştir.

Tablo 10. Yüzdürme elemanı 1 m/s akıntı hızı için elde eldilen sonuçlar

Malzeme adı	Açıklama	Max von-Mises gerilme değeri (MPa)	Max Şekil Değiştirme	Max Toplam Yer Değiştirme [mm]
High Density Polyetylene (HDPE)	Takviyesiz	0,24358	$2{,}6283 \times 10^{-4}$	0,84801

3.3. Elde Edilen Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Aşağıdaki tablolarda, farklı akıntı hızları altında, ağ malzemesi olarak Nylon PA6, Nylon PA6 (%30 cam elyaf takviyeli), Polyethylene Terephthalate (PET), Polyurethane elastomer kullanılarak yapılan analizler sonucunda eleman üzerinde oluşan maksimum von-Mises gerilme, maksimum şekil değiştirme ve maksimum toplam yer değiştirme değerleri verilmektedir.

Yüzdürme elemanı için tek malzeme kullanıldığından sonuçların karşılaştırılması Bölüm 3.2. Yüzdürme Elemanı İçin Elde Edilen Sonuçlar' da gösterilmiştir.

Tablo 11 incelendiğinde ağ eleman için yapılan analizler sonucunda aynı akıntı hızı altında elde edilen gerilme değerlerinin farklı materyaller kullanılmasına rağmen yakın değerler çıktığı görülmüştür. Akıntı hızı arttırıldıkça oluşan gerilme değerleride artmış ancak değerlerdeki yakınlık değişmemiştir.

Tablo 11. Ağ elemanda akıntı hızlarına göre oluşan maksimum von-Mises gerilme değerleri (MPa)

		Akıntı hızı (m/s)		
Materyal	Açıklama	0,5	0,7	1
Nylon PA6	Takviyesiz	5,1811	10,148	21,996
Nylon PA6	%30 cam elyaf takviye	5,1767	10,144	21,992
Polyethylene Terephthalate (PET)	Takviyesiz	5,176	10,143	21,991
Polyurethane elastomer	%30 cam elyaf takviye	5,1739	10,141	21,989

Tablo 12 incelendiğinde ağ elemanda, analizde kullanılan her akıntı hızı için Nylon PA6, Polyethylene Terephthalate (PET) ve Polyurethane elastomer malzemeleri kullanıldığında meydana gelen şekil değiştirmeler yakın değerlerde olup en büyük şekil değiştirme Nylon PA6 kullanıldığında meydana gelmiştir. Yine analizde kullanılan her akıntı hızı için en küçük şekil değiştirme Nylon PA6 (%30 cam elyaf takviyeli) kullanıldığında meydana gelmiştir.

Tablo 12. Ağ elemanda akıntı hızlarına göre oluşan maksimum şekil değiştirme değerleri

		Akıntı hızı (m/s)		
Materyal	Açıklama	0,5	0,7	1
Nylon PA6	Takviyesiz	$1{,}7902 \times 10^{-3}$	$3{,}5065 \times 10^{-3}$	$7{,}6 \times 10^{-3}$
Nylon PA6	%30 cam elyaf takviye	$5{,}2929 \times 10^{-4}$	$1{,}0372 \times 10^{-3}$	$2{,}2485 \times 10^{-3}$
Polyethylene Terephthalate (PET)	Takviyesiz	$1{,}7288 \times 10^{-3}$	$3{,}3879 \times 10^{-3}$	$7{,}345 \times 10^{-3}$
Polyurethane elastomer	%30 cam elyaf takviye	$1{,}6707 \times 10^{-3}$	$3{,}2747 \times 10^{-3}$	$7{,}1005 \times 10^{-3}$

Tablo 13 incelendiğinde analizde kullanılan her akıntı hızı için en küçük yer değiştirme ağ materyali olarak Nylon PA6 (%30 cam elyaf takviyeli) kullanıldığında meydana gelmiştir. Buna karşın 0,5 m/s akıntı hızı altında en büyük yer değiştirme ağ materyali olarak Polyurethane Elastomer kullanıldığında, 0,7 m/s akıntı hızı altında en büyük yer değiştirme ağ materyali olarak Polyethylene Terephthalate (PET) kullanıldığında, 1 m/s akıntı hızı altında en büyük yer değiştirme ağ materyali olarak Nylon PA6 kullanıldığında meydana geldiği görülmüştür.

Tablo 13. Ağ elemanda akıntı hızlarına göre oluşan maksimum yer değiştirme değerleri (mm)

		Akıntı hızı (m/s)		
Materyal	Açıklama	0,5	0,7	1
Nylon PA6	Takviyesiz	97,653	128,82	234,47
Nylon PA6	%30 cam elyaf takviye	31,236	39,905	70,352
Polyethylene Terephthalate (PET)	Takviyesiz	103,25	131,3	230,34
Polyurethane elastomer	%30 cam elyaf takviye	103,6	129,91	224,35

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Yapılan çalışmada Mooring sistem elemanlarında çevresel etkiler sebebiyle oluşan gerilmeler ve yer değiştirmeler, bu sistemlerin tasarımında fikir vermesi amacıyla incelenmiştir. Analizler, sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yönteminin birlikte kullanılmasına olanak sağlayan ANSYS Workbench yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada farklı senaryolar simüle etmek adına kafes elemanlarında farklı materyaller kullanılmış ve analizlerde asıl yükü teşkil eden akıntı hızlarında farklı değerler ele alınmış olup elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

Ağ elemanı üzerinde oluşan gerilme akıntı hızına bağlı olarak artmıştır. Ancak her akıntı hızı için oluşan maksimum von-Mises gerilme değerleri materyal çeşidine göre çok büyük değişim göstermeyip elde edilen değerler oldukça yakındır. Bu durum gerilme değerinin eleman türüne değil akıntı hızına ve basınç uygulanan eleman yüzeyine bağlı olduğu şeklinde açıklanabilir.

Ağ elemanında meydana gelen şekil değiştirmeler akıntı hızına ve kullanılan materyalin elastisite modülüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bütün akıntı değerleri için en büyük şekil değiştirme Nylon PA6 materyali kullanıldığında meydana gelirken en küçük şekil değiştirme Nylon PA6 (%30 cam elyaf takviyeli) materyali kullanıldığında meydana gelmiştir. Bu durumun en büyük elastisite modülünün Nylon PA6 (%30 cam elyaf takviyeli) materyalinde iken en küçük elastisite modülünün Nylon PA6 materyalinde olması ile açıklanabilir.

Ağ elemanında oluşan toplam yer değiştirmeler akıntı hızı, kullanılan materyalin elastisite modülü ve kullanılan materyalin yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Bütün akıntı değerleri için en küçük toplam yer değiştirme Nylon PA6 (%30 cam elyaf takviyeli) materyali kullanıldığında meydana gelmiştir. En büyük toplam yer değiştirmeler 0,5 m/s, 0,7 m/s, 1 m/s akıntı hızları için sırasıyla Polyurethane Elastomer, Polyethylene Terephthalate (PET), Nylon PA6 kullanıldığında meydana gelmiştir.

Yüzdürme elemanı için gerilmeler, sistemi yüzdürmek için tasarlanan içi boş boruları bir arada tutan yapı ile borular arasındaki temas yüzeyinde yoğunlaşmıştır. Gerilmeler akıntı hızına göre değişim göstermekte olup gerilmelerin toplandığı yüzeyler aynı kalmaktadır.

Yüzdürme elemanı için şekil değiştirme oluşumu gerilme oluşumu ile aynı karakteristik özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Bu durum şekil değiştirmenin gerilme olan yüzeylerde meydana geldiği şeklinde açıklanabilir.

Yüzdürme elemanı için yer değiştirmeler akıntının ilk temas ettiği en dış yüzeylerde yoğunlaşmaktadır. Toplam yer değiştirme değerleri akıntı hızına ve elastisite modülüne bağlı olarak değişmekte olup deformasyon yüzeyleri aynı kalmaktadır.

Bütün sonuçlar irdelendiğinde analizlerde ağ malzemesi olarak kullanılan bütün materyallerin kullanımının uygun olduğu ve yüzdürme yapısı için de High Density Polyetylene (HDPE) materyalinin kullanımının uygun olduğu görülmüştür.

5. ÖNERİLER

Bu çalışmada işlenen konu üzerine bundan sonra yapılacak çalışmalar ile ilgili öneriler aşağıda verilmiştir.

1. Yapılan analizler, farklı çaptaki ve derinlikteki ağ yapıları için tekrarlanılabilir.
2. Yapılacak analizlerde farklı materyaller ve akıntı hızları kullanılabilir.
3. Yüzdürme elemanı için farklı geometriler ve bu geometrilere uygun materyaller kullanılabilir.
4. Çalışmalarda, farklı analiz yöntemleri veya Mesh yapıları kullanılarak çalışma tekrarlanılabilir.
5. Farklı analiz programları kullanılarak veya laboratuvar ortamında sayısal analize uygun fiziksel deneyler gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

ANSYS 16.0, (2016). Swanson Analysis Systems Inc., Houston PA, USA.

BEVERIDGE, M. (1987). Cage Aquaculture. Fishing News Books. John Wiley & Sons, 376 s., 1-37.

Bi, C. W., Zhao, Y. P., Dong, G. H., Xu, T. J., & Gui, F. K. (2014). Numerical simulation of the interaction between flow and flexible nets. *Journal of Fluids and Structures*, *45*, 180–201. https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2013.11.015

Bi, C. W., Zhao, Y. P., Dong, G. H., Zheng, Y. N., & Gui, F. K. (2014). A numerical analysis on the hydrodynamic characteristics of net cages using coupled fluid-structure interaction model. *Aquacultural Engineering*, *59*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.01.002

Bi, C. W., Zhao, Y. P., Dong, G. H., Cui, Y., & Gui, F. K. (2015). Experimental and numerical investigation on the damping effect of net cages in waves. *Journal of Fluids and Structures*, *55*, 122–138. https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2015.02.010

Bi, C. W., Zhao, Y. P., & Dong, G. H. (2015). Numerical study on the hydrodynamic characteristics of biofouled full-scale net cage. *China Ocean Engineering*, *29*(3), 401–414. https://doi.org/10.1007/s13344-015-0028-9

Bi, C. W., Balash, C., Matsubara, S., Zhao, Y. P., & Dong, G. H. (2017). Effects of cylindrical cruciform patterns on fluid flow and drag as determined by CFD models. *Ocean Engineering*, *135*, 28–38. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.02.032

Bi, C. W., Zhao, Y. P., Dong, G. H., Wu, Z. M., Zhang, Y., & Xu, T. J. (2018). Drag on and flow through the hydroid-fouled nets in currents. *Ocean Engineering*, *161*, 195–204. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.05.005

Bi, C. W., & Xu, T. J. (2018). Numerical study on the flow field around a fish farm in tidal current. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *18*(5), 705–716. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v18_5_06

Bui, C. M., Ho, T. X., & Khieu, L. H. (2020). Numerical study of a flow over and through offshore fish cages. *Ocean Engineering*, *201*, 107140.

CARSON, R. M. (1988). Engineering analysis and design of cage systems for exposed locations ın Aquaculture Engineering: Technologies for the Future, EFCE Yayınları, Seri No:66, ISBN 0 85295 226 0, 77-96.

Chen, H., & Christensen, E. D. (2016). Investigations on the porous resistance coefficients for fishing net structures. *Journal of Fluids and Structures*, *65*, 76–107. https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2016.05.005

Cornejo, P., Sepúlveda, H. H., Gutiérrez, M. H., & Olivares, G. (2014). Numerical studies on the hydrodynamic effects of a salmon farm in an idealized environment. *Aquaculture*, *430*, 195–206. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.04.015

Cui, Y., Guan, C. T., Wan, R., Huang, B., & Li, J. (2013). Numerical simulation of a flatfish cage system in waves and currents. *Aquacultural Engineering*, *56*, 26–33. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2013.04.001

DİKEL, S. (2005). Kafes Balıkçılığı / Cage Aquaculture. Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, Yayın No: 18, 1. Baskı, ISBN: 975-487-123-X, 219s, 32-35.

FAO, (2018). The State of World Fisheries and Aquaculture. Roma, İtalya, 227 s.

Fredriksson, D. W., Decew, J., Lader, P., Volent, Z., Jensen, & Willumsen, F. V. (2014). A finite element modeling technique for an aquaculture net with laboratory measurement comparisons. *Ocean Engineering*, *83*, 99–110. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.03.005

Kim, T., Lee, J., Fredriksson, D. W., DeCew, J., Drach, A., & Moon, K. (2014). Engineering analysis of a submersible abalone aquaculture cage system for deployment in exposed marine environments. *Aquacultural Engineering*, *63*, 72–88. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.10.006

Kim, T., Lee, J., Fredriksson, D. W., DeCew, J., Drach, A., & Yim, S. C. (2018). Design approach of an aquaculture cage system for deployment in the constructed channel flow environments of a power plant. *PLoS ONE*, *13*(6). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198826

Klebert, P., Volent, Z., & Rosten, T. (2018). Measurement and simulation of the three-dimensional flow pattern and particle removal efficiencies in a large floating closed sea cage with multiple inlets and drains. *Aquacultural Engineering*, *80*, 11–21. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.11.001

Li, L., Fu, S., & Xu, Y. (2013). Nonlinear hydroelastic analysis of an aquaculture fish cage in irregular waves. *Marine Structures*, *34*, 56–73. https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2013.08.002

Li, L., Fu, S., Xu, Y., Wang, J., & Yang, J. (2013). Dynamic responses of floating fish cage in waves and current. Ocean Engineering, 72, 297–303. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2013.07.004

MORING, J R. (1982). Fin Erosion and Culture-Related Injuries of Chinook Salmon Raised in Floating Net Pens. The Progressive Fish-Cultirist., 44, 189- 191.

Myrli, O., & Khawaja, H. (2019). Fluid-structure interaction (FSI) modelling of aquaculture net cage. International Journal of Multiphysics, 13(1), 97–111. https://doi.org/10.21152/1750-9548.13.1.97

Patursson, Ø., Swift, M. R., Tsukrov, I., Simonsen, K., Baldwin, K., Fredriksson, D. W., & Celikkol, B. (2010). Development of a porous media model with application to flow through and around a net panel. Ocean Engineering, 37(2–3), 314–324. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2009.10.001

Winthereig-Rasmussen, H., Simonsen, K., & Patursson, Ø. (2016). Flow through fish farming sea cages: Comparing computational fluid dynamics simulations with scaled and full-scale experimental data. Ocean Engineering, 124, 21–31. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.07.027

TCTOB, (2019). Su Ürünleri İstatistikleri. Ankara, Türkiye, 21 s.

TÜİK, (2018). Su Ürünleri İstatistikleri. Ankara, Türkiye.

TÜRK LOYDU VAKFI, (2010). Multi-Point Mooring Systems , İstanbul, Türkiye. 136 s.

Tsukrov, I., Eroshkin, O., Fredriksson, D., Swift, M. R., & Celikkol, B. (2003). Finite element modeling of net panels using a consistent net element. Ocean Engineering, 30(2), 251–270. https://doi.org/10.1016/S0029-8018(02)00021-5

URL-1, (2007). http://web.rtpcompany.com/info/data/index.htm (14 Aralık 2020)

Xu, T. J., Zhao, Y. P., Dong, G. H., Li, Y. C., & Gui, F. K. (2013). Analysis of hydrodynamic behaviors of multiple net cages in combined wave-current flow. Journal of Fluids and Structures, 39(39), 222–236. https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2013.02.011

Xu, T. J., Hou, H. M., Dong, G. H., Zhao, Y. P., & Guo, W. J. (2017). Structural analysis of float collar for metal fish cage in waves. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 17(2), 257–268. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v17_2_04

Yao, Y., Chen, Y., Zhou, H., & Yang, H. (2016). Numerical modeling of current loads on a net cage considering fluid-structure interaction. Journal of Fluids and Structures, 62, 350–366. https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2016.01.004

Zou, B., Thierry, N. N. B., Tang, H., Xu, L., Dong, S., & Hu, F. (2020). The deformation characteristics and flow field around knotless polyethylene netting based on fluid structure interaction (FSI) one-way coupling. Aquaculture and Fisheries. https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.07.012

Zou, B., Thierry, N. N. B., Tang, H., Xu, L., Zhou, C., Wang, X., Dong, S., & Hu, F. (2021). Flow field and drag characteristics of netting of cruciform structures with various sizes of knot structure using CFD models. Applied Ocean Research, 106, 102466.

Zhao, Y. P., Bi, C. W., Dong, G. H., Gui, F. K., Cui, Y., & Xu, T. J. (2013). Numerical simulation of the flow field inside and around gravity cages. Aquacultural Engineering, 52, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.06.001

Zhao, Y., Bi, C., Dong, G., Chen, C., & Li, Y. (2015, May 31). Numerical Investigation of the Influences of Fishing Net on Waves. https://doi.org/10.1115/omae2015-41302

Zhao, Y. P., Bi, C. W., Dong, G. H., Bai, X. D., & Xu, T. J. (2016). A numerical study on wave propagating through in-line net cages. Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering - OMAE, 7. https://doi.org/10.1115/OMAE2016-54510

Zhu, M., Li, S., Liu, T., Sun, R., & Dai, J. (2019). Analysis of sustainable net cage and fluid flows through the review. Advances in Intelligent Systems and Computing, 1002, 270–278. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21255-1_21

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Emin ÖZDEMİR, [redacted] İlk ve orta öğretimini Giresun 19 Eylül İlköğretim Okulu'nda, lise eğitimini Giresun Mimar Sinan Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2014 yılında kazandığı İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2018 yılında lisans derecesiyle mezun oldu. 2017 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.