

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇ VE DIŞ AKIŞ ETKİSİNDE DENİZ DEŞARJ SİSTEMLERİNİN TASARIMI

DOKTORA TEZİ

Engin GÜCÜYEN

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Hidrolik

MANİSA 2013

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İÇ VE DIŞ AKIŞ ETKİSİNDE DENİZ DEŞARJ SİSTEMLERİNİN
TASARIMI**

DOKTORA TEZİ

Y. İnş. Müh. ENGİN GÜCÜYEN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Kasım 2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Aralık 2013

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ümit GÖKKUŞ (CBÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Bekir SOLMAZ (CBÜ)

: Prof.Dr. Ömer YÜKSEK (KTÜ)

: Prof.Dr. M. Emin EMİROĞLU (FIRAT Ü)

: Prof.Dr. Erdoğan ÖZKAYA (CBÜ)

MANİSA 2013

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SEMBOL LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
KISALTMALAR LİSTESİ	xiii
TEŞEKKÜR	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.3. Çalışma Yöntemi	3
1.4. Literatür Araştırması	4
2. DİFÜZÖR ANALİZLERİ	9
2.1. Difüzör Hakkında Genel Bilgiler	9
2.2. Difüzörün Ayrık Analizi	11
2.2.1. Boru Hattının ve Deşarj Borusunun Karakteristikleri	12
2.2.2. Durgun Deniz Ortamında Difüzörün Hidrolik Modellemesi	14
2.2.3. Dalgalı Deniz Ortamında Difüzörün Hidrodinamik Modellemesi	18
2.2.4. Difüzör ve Tespit Kitlelerinin (Mesnetlerin) Stabilite ve Gerilme Analizi	25
2.3. Difüzörün Bütünleşik Analizi-ABAQUS	28
2.3.1. Boru Hattının ve Deşarj Borusunun Karakteristikleri	31
2.3.2. Hidrolik Modelleme-ABAQUS	39
2.3.3. Hidrodinamik Modelleme-ABAQUS	41
2.3.4. Durgun Deniz Ortamında Deşarj Modellemesi	42
2.3.5. Dalgalı Deniz Ortamında Deşarj Modellemesi	43
2.3.6. Akışkan-Yapı Etkileşiminin Modellenmesi	44
2.3.7. Akışkan-Yapı Etkileşimine Göre Borudaki Von Mises Gerilmeleri	45
3. AKIŞKAN-BORU AYRIK ve BÜTÜNLEŞİK SİSTEMLERE GÖRE HESAPLANAN İÇ-DİŞ AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN VE GERİLME-DEPLASMAN DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	49
3.1. Deniz, Boru ve Zemine İlişkin Veriler	49

3.2. Akışkan-Boru Ayrık Sistem Esasına Göre Difüzör Analizi (DIFDES+HYDRODIF+SAP2000)	50
3.2.1. Difüzör Ön Boyutlandırma	50
3.2.2. Difüzör ve Tespit Kitlelerinin Stabilitate ve Gerilme Analizi	51
3.3. Durgun Deniz Ortamında Deşarj Modellemesi	54
3.4. Difüzör Etrafındaki İç-Dış Basınç Dağılımı	64
3.5. Difüzörün Gerilme Dağılımı ve Deplasman Değerleri	71
3.6. İç Akış Akım Çizgileri	77
3.7. Von Mises Gerilmeleri	81
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	86
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	91

SEMBOL LİSTESİ

A_d	: Difüzör borusunun enkesit alanı
A_e	: Atıksu en kesit alanı
A_p	: Çıkış (port) enkesit alanı
A_r	: Çıkış kanalı (riser) enkesit alanı
A_t	: Tespit kitlesi en kesit alanı
a	: Tespit kitlesi derinliği
B	: Tespit kitlesi taban genişliği
b	: Tespit kitlesi genişliği
C_c	: Akıma bağlı çıkış kayıp katsayısı
C_D	: Dalga kuvveti sürüklenme katsayısı
C_L	: Dalga kuvveti kaldırma katsayısı
C_M	: Dalga kuvveti atalet katsayısı
c	: Tespit kitlesi taban derinliği
c_0	: Sesin sudaki hızı
C_s	: Yapının sönümü
D_d	: Difüzör borusunun çapı
D_m	: Difüzör borusunun ortalama çapı
D_p	: Çıkış (port) çapı
D_r	: Çıkış kanalı (riser) çapı
d	: Dalgalanmamış su yüzü profilinin deniz tabanına dik uzaklığı
E	: Enerji yüksekliği
E_ζ	: Çeliğin elastisite modülü
F_D	: Dalganın oluşturduğu sürüklenme kuvveti
F_{FS}	: Akışkandan yapıya aktarılan kuvvet
F_L	: Dalganın oluşturduğu kaldırma kuvveti
F_M	: Dalganın oluşturduğu atalet kuvveti
F_b	: Beton ağırlık kuvveti
F_C	: Zemin taşıma gücü
F_d	: Difüzör ağırlık kuvveti
F_e	: Atık su ağırlık kuvveti
F_f	: Akışkandan yapıya aktarılan kuvvet
F_s	: Yanal zemin direnci
F_w	: Toplam ağırlık kuvveti
F_t	: Tespit kitlesi ağırlık kuvveti
g	: Yerçekimi ivmesi

H	: Dalga yüksekliği
h	: Tespit kitlesi taban kalınlığı
h_{dif}	: Çıkış kanallarında oluşan sürtünme kaybı
h_{gg}	: Gel-git ortaya çıkan yük kaybı
h_{ro}	: Yoğunluk farkından ileri gelen yük kaybı
h_s	: Difüzör ana borusundaki sürtünme kaybı
h_t	: Difüzörden suyun iletilebilmesi için gerekli toplam enerji kaybı
h_y	: Toplam yersel yük kaybı
k	: Eos malzeme sabiti
kg	: Kilogram
k_s	: Yapının rijitliği
L	: Çıkış kanalları arasındaki yatay uzaklık
L_d	: Difüzör borusunun boyu
L_{dal}	: Dalga boyu
L_p	: Çıkış (port) boyu
L_r	: Çıkış borusu (riser) boyu
M	: Moment
m	: metre
m_d	: Difüzör birim boy ağırlığı
m_s	: yapının kütlesi
N	: Normal kuvvet
P_a	: Dış ortam basınç
P_b	: Difüzör ana borusu burkulma basıncı
P_d	: Boru iç basınç
Q	: Toplam debi
q	: Çıkış debisi
R_{my}	: Mesnette meydana gelen yatay reaksiyon kuvveti
R_{md}	: Mesnette meydana gelen düşey reaksiyon kuvveti
s	: Saniye
s_d	: Difüzör et kalınlığı
T	: Dalga periyodu
t	: Zaman
$ú_y$	: Akışkanın düşey partikül hızı
$ú_z$	: Akışkanın difüzör boyuna paralel yatay eksen partikül hızı
V_a	: Durgun dış ortam akım hızı
V_d	: Difüzör borusundaki akım hızı
V_p	: Difüzör çıkışındaki (port) akım hızı

W	: Şekil değıştirme enerjisi yoğunluğu
w	: Yerçekimi yönünde tespit kitlesine etki eden bileşke kuvvet
x	: Difüzör boyuna dik yatay eksen
y	: Düşey eksen
z	: Difüzör boyuna paralel yatay eksen
α	: Bir çıkış kanalındaki çıkış sayısına bağlı hesaplanan katsayı
β	: Tespit kitlesi ve zemin arasındaki sürtünme katsayısı
ε	: Şekil değıştirme
δ	: Yer değıştirme
ϕ	: Zemin içsel sürtünme açısı
γ_b	: Beton birim hacim ağırlığı
γ_ϕ	: Difüzör malzemesi (çelik) birim hacim ağırlığı
λ_d	: Difüzör ana borusundaki pürüzlülük katsayısı
γ_e	: Akışkan birim hacim ağırlığı
λ_p	: Difüzör çıkışlarındaki (port) pürüzlülük katsayısı
λ_r	: Difüzör çıkış kanallarındaki pürüzlülük katsayısı
γ_s	: Zemin birim hacim ağırlığı
ξ_d	: Difüzör ana borusundaki yersel yük kaybı katsayısı
ξ_p	: Difüzör çıkışlarındaki (port) yersel yük kaybı katsayısı
ξ_r	: Difüzör çıkış kanallarındaki yersel yük kaybı katsayısı
μ	: Suyun dinamik vizkozitesi
ω_d	: Doğal frekans
ψ	: Doğal frekans katsayısı
ρ_e	: Akışkan yoğunluğu
ρ_ϕ	: Çeliğin yoğunluğu
σ_{VM}	: Von Mises Gerilmesi
Γ_0	: Eos malzeme sabiti

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil	Sayfa	
Şekil 1.1.	Difüzörün boru eksen diki yatay, dikey ve açılı çıkış kanalları	2
Şekil 2.1.	Deşarj hattını oluşturan kısımlar	9
Şekil 2.2.	Tek-Çift kollu difüzör	10
Şekil 2.3.	Difüzör çıkış yapıları	11
Şekil 2.4.	Difüzör kesitleri	12
Şekil 2.5.	DIFDES yazılımı akış şeması	13
Şekil 2.6.	Çıkışlar arası hidrolik analiz	15
Şekil 2.7.	Deniz dalgalarının sınıflandırılması	19
Şekil 2.8.	Dalga teorileri	20
Şekil 2.9.	Dalga teorilerine ait su yüzü profilleri	20
Şekil 2.10.	Hesaplamalarda kullanılacak düğüm noktaları	21
Şekil 2.11.	HYDRODIF yazılımı akış şeması	24
Şekil 2.12.	Ana borunun kesitinin oluşturulması	32
Şekil 2.13.	Borunun oluşturulması	32
Şekil 2.14.	İki borunun birleştirilmesi	33
Şekil 2.15.	Çıkışların oluşturulması	33
Şekil 2.16.	Kademeli difüzör geometrisi	34
Şekil 2.17.	Assembly bölümünde geometrilerin kesilmesi	34
Şekil 2.18.	Difüzör geometrisi	35
Şekil 2.19.	Geometriye malzeme atanması	35
Şekil 2.20.	Analiz şartlarının belirlenmesi	36
Şekil 2.21.	Temas yüzeylerinin belirlenmesi	36
Şekil 2.22.	Geometride noktalar oluşturulması	37
Şekil 2.23.	Elaman tipinin belirlenmesi	37
Şekil 2.24.	Ana boru-çıkış mesh yapısı	38
Şekil 2.25.	Mesnet yerleri ve şartı	38
Şekil 2.26.	Farklı difüzör modelleri	39
Şekil 2.27.	FC3D4 eleman geometrisi	40
Şekil 2.28.	Ana boru giriş hızının tanımlanması	40
Şekil 2.29.	Difüzör çıkışlarının belirlenmesi	41
Şekil 2.30.	Durgun ortama deşarj modellemesi	42
Şekil 2.31.	Akışkan-katı temas yüzeylerinin belirlenmesi	43
Şekil 2.32.	Dalga parametrelerinin programa aktarılması	43
Şekil 2.33.	İç-dış akış modellemesi	44

Şekil		Sayfa
Şekil 2.34.	Yapı ve akışkan çözücüsünün etkileşimi	45
Şekil 2.35.	Von Mises Gerilmeleri	46
Şekil 3.1.	Farklı kesitli difüzörler	50
Şekil 3.2.	Tespit kitlesinin perspektif görünüşü ve etkiyen kuvvetler	53
Şekil 3.3.	Sabit/ kademeli daralan/ tedrici daralan kesitli modelin son dört kanal çıkış hız-kesit değişimi	55
Şekil 3.4.	Sabit kesitli difüzör No:1 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları	56
Şekil 3.5.	Sabit kesitli difüzör No:2 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları	57
Şekil 3.6.	Sabit kesitli difüzör No:3 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları	57
Şekil 3.7.	Sabit kesitli difüzör No:4 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları	58
Şekil 3.8.	Kademeli daralan kesitli difüzör No:1 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları	58
Şekil 3.9.	Kademeli daralan kesitli difüzör No:2 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları	59
Şekil 3.10.	Kademeli daralan kesitli difüzör No:3 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları	59
Şekil 3.11.	Kademeli daralan kesitli difüzör No:4 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları	60
Şekil 3.12.	Tedrici daralan kesitli difüzör No:1 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları	60
Şekil 3.13.	Tedrici daralan kesitli difüzör No:2 kanal çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları	61
Şekil 3.14.	Tedrici daralan kesitli difüzör No:3 kanal çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları	61
Şekil 3.15.	Tedrici daralan kesitli difüzör No:4 kanal çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları	62
Şekil 3.16.	Kanal çıkışında akış ortamına ilişkin düğümlerdeki hız vektörleri ve akım çizgileri	64
Şekil 3.17.	Enkesitte A,B,C noktaları ile boykesitte No:1 ve No:2 kesitlerinin konumu	65
Şekil 3.18.	Sabit kesitli difüzör No:1 kesitindeki zamanla değişen iç-dış basınç dağılımı	65
Şekil 3.19.	Sabit kesitli difüzör No:2 kesitindeki zamanla değişen iç-dış basınç dağılımı	65
Şekil 3.20.	Sabit kesit $t=0$ s dış basıncın konumla değişimi	68
Şekil 3.21.	Sabit kesit $t=2$ s dış basıncın konumla değişimi	68
Şekil 3.22.	Sabit kesit $t=4$ s dış basıncın konumla değişimi	68
Şekil 3.23.	Sabit kesit $t=6$ s dış basıncın konumla değişimi	68
Şekil 3.24.	Sabit kesit $t=8$ s dış basıncın konumla değişimi	68

Şekil		Sayfa
Şekil 3.25.	Kademeli daralan kesit $t=0$ s dış basıncın konumla değişimi	69
Şekil 3.26.	Kademeli daralan kesit $t=2$ s dış basıncın konumla değişimi	69
Şekil 3.27.	Kademeli daralan kesit $t=4$ s dış basıncın konumla değişimi	69
Şekil 3.28.	Kademeli daralan kesit $t=6$ s dış basıncın konumla değişimi	69
Şekil 3.29.	Kademeli daralan kesit $t=8$ s dış basıncın konumla değişimi	69
Şekil 3.30.	Tedrici daralan kesit $t=0$ s dış basıncın konumla değişimi	70
Şekil 3.31.	Tedrici daralan kesit $t=2$ s dış basıncın konumla değişimi	70
Şekil 3.32.	Tedrici daralan kesit $t=4$ s dış basıncın konumla değişimi	70
Şekil 3.33.	Tedrici daralan kesit $t=6$ s dış basıncın konumla değişimi	70
Şekil 3.34.	Tedrici daralan kesit $t=8$ s dış basıncın konumla değişimi	70
Şekil 3.35.	Sabit kesitli difüzör No:1 kesitindeki zamanla değişen gerilmelerin ve deformasyonların dağılımı	71
Şekil 3.36.	Sabit kesitli difüzör No:2 kesitindeki zamanla değişen gerilmelerin ve deformasyonların dağılımı	71
Şekil 3.37.	Sabit kesitli difüzör deplasman yapmamış ve yapmış SAP 2000 Modelleri	73
Şekil 3.38.	Kademeli daralan kesitli difüzör deplasman yapmamış ve yapmış SAP 2000 Modelleri	74
Şekil 3.39.	Tedrici daralan kesitli difüzör deplasman yapmamış ve yapmış SAP 2000 Modelleri	74
Şekil 3.40.	Kademeli daralan kesitli difüzör akım çizgileri	77
Şekil 3.41.	$t=2$ s kademeli daralan kesitli difüzör akım çizgileri	78
Şekil 3.42.	$t=0$ s ve $t=1$ s kademeli daralan kesitte bileşke akım hızı	78
Şekil 3.43.	$t=2$ s ve $t=4$ s kademeli daralan kesitte bileşke akım hızı	79
Şekil 3.44.	$t=5$ s ve $t=6$ s kademeli daralan kesitte bileşke akım hızı	79
Şekil 3.45.	$t=8$ s kademeli daralan kesitte bileşke akım hızı	80
Şekil 3.46.	Sabit kesitli difüzörde $t=0$ s ve $t=2$ s Von Mises Gerilmeleri	81
Şekil 3.47.	Sabit kesitli difüzörde $t=4$ s ve $t=6$ s Von Mises Gerilmeleri	81
Şekil 3.48.	Sabit kesitli difüzörde $t=8$ s Von Mises Gerilmeleri	82
Şekil 3.49.	Kademeli daralan kesitli difüzörde $t=0$ s ve $t=2$ s Von Mises Gerilmeleri	82
Şekil 3.50.	Kademeli daralan kesitli difüzörde $t=4$ s ve $t=6$ s Von Mises Gerilmeleri	83
Şekil 3.51.	Kademeli daralan kesitli difüzörde $t=8$ s Von Mises Gerilmeleri	83
Şekil 3.52.	Tedrici daralan kesitli difüzörde $t=0$ s ve $t=2$ s Von Mises Gerilmeleri	84
Şekil 3.53.	Tedrici daralan kesitli difüzörde $t=4$ s ve $t=6$ s Von Mises Gerilmeleri	84
Şekil 3.54.	Tedrici daralan kesitli difüzörde $t=8$ s Von Mises Gerilmeleri	85

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. DIFDES yazılımı ile elde edilen sabit kesitli boru iç basınç, çıkış hızı ve enerji değerleri	51
Çizelge 3.2. HYDRODIF ile sabit/ kademeli daralan/ tedrici daralan kesitli difüzör boru iç basınç, çıkış hızı ve enerji değerleri (dalgalı deniz ortamı)	52
Çizelge 3.3. Difüzöre etki eden yatay ve düşey kuvvetler	52
Çizelge 3.4. Durgun ortamda difüzörlerin ortalama çıkış hızı değerleri	55
Çizelge 3.5. Difüzörlerin dalgalı ortam ortalama çıkış hızı değerleri	63
Çizelge 3.6. Sabit kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen iç-dış basınç	65
Çizelge 3.7. Sabit kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen iç-dış basınç	66
Çizelge 3.8. Kademeli daralan kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen iç-dış basınç	66
Çizelge 3.9. Kademeli daralan kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen iç-dış basınç	66
Çizelge 3.10. Tedrici daralan kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen iç-dış basınç	66
Çizelge 3.11. Tedrici daralan kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen iç-dış basınç	67
Çizelge 3.12. Sabit kesit $t=0$ s dış basıncın konumla değişimi	68
Çizelge 3.13. Sabit kesit $t=2$ s dış basıncın konumla değişimi	68
Çizelge 3.14. Sabit kesit $t=4$ s dış basıncın konumla değişimi	68
Çizelge 3.15. Sabit kesit $t=6$ s dış basıncın konumla değişimi	68
Çizelge 3.16. Sabit kesit $t=8$ s dış basıncın konumla değişimi	68
Çizelge 3.17. Kademeli daralan kesit $t=0$ s dış basıncın konumla değişimi	69
Çizelge 3.18. Kademeli daralan kesit $t=2$ s dış basıncın konumla değişimi	69
Çizelge 3.19. Kademeli daralan kesit $t=4$ s dış basıncın konumla değişimi	69
Çizelge 3.20. Kademeli daralan kesit $t=6$ s dış basıncın konumla değişimi	69
Çizelge 3.21. Kademeli daralan kesit $t=8$ s dış basıncın konumla değişimi	69
Çizelge 3.22. Tedrici daralan kesit $t=0$ s dış basıncın konumla değişimi	70
Çizelge 3.23. Tedrici daralan kesit $t=2$ s dış basıncın konumla değişimi	70
Çizelge 3.24. Tedrici daralan kesit $t=4$ s dış basıncın konumla değişimi	70
Çizelge 3.25. Tedrici daralan kesit $t=6$ s dış basıncın konumla değişimi	70
Çizelge 3.26. Tedrici daralan kesit $t=8$ s dış basıncın konumla değişimi	70
Çizelge 3.27. Sabit kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen Von Misses Gerilme değerleri	72
Çizelge 3.28. Sabit kesitli difüzör üzerindeki No:1 kesiti A noktası gerilme bileşenleri ve Von Mises Gerilmeleri	72
Çizelge 3.29. Sabit kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen Von Misses Gerilme değerleri	72
Çizelge 3.30. Kademeli daralan kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen Von Misses Gerilme değerleri	72

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.31. Kademeli daralan kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen Von Misses gerilme değerleri	73
Çizelge 3.32. Tedrici daralan kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen Von Misses gerilme değerleri	73
Çizelge 3.33. Tedrici daralan kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen Von Misses gerilme değerleri	73
Çizelge 3.34. Sabit kesitli difüzör üzerindeki No:1 kesiti deplasman ve bileşenleri	75
Çizelge 3.35. Sabit kesitli difüzör deplasman konumla değişimi	75
Çizelge 3.36. Sabit kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen bileşke deplasman değerleri	75
Çizelge 3.37. Sabit kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen bileşke deplasman değerleri	75
Çizelge 3.38. Kademeli daralan kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen bileşke deplasman değerleri	75
Çizelge 3.39. Kademeli daralan kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen bileşke deplasman değerleri	76
Çizelge 3.40. Tedrici daralan kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen bileşke deplasman değerleri	76
Çizelge 3.41. Tedrici daralan kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen bileşke deplasman değerleri	76

KISALTMALAR LİSTESİ

CAE	: Complete Abaqus Environment
CFD	: Computational Fluid Dynamics
FSI	: Fluid Structure Interaction

TEŞEKKÜR

Bu çalışma kapsamında ve yüksek öğrenimim boyunca benden emeğini, bilgisini ve zamanını esirgemeyen, danışman hocam sayın Prof. Dr. Ümit GÖKKUŞ'a, bölümümüzdeki çalışmalarımda bana destek olan İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı sayın Prof. Dr. Bekir SOLMAZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda ve her zaman yanımda olan çok değerli kardeşim Arş. Gör. R. Tuğrul ERDEM'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Beni yetiştirip bugünlere getiren ve her zaman yanımda olan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇ VE DIŞ AKIŞ ETKİSİNDE DENİZ DEŞARJ SİSTEMLERİNİN TASARIMI

Özet

Günümüzde çevre ve insan sağlığına verilen önemin artmasıyla beraber kentsel ve endüstriyel sıvı atıklarının bertarafı da önem kazanmıştır. Ön arıtma sonrası sistemlerinin maliyetinin yüksek olması atık suların ön arıtmadan sonra denize deşarjını gündeme getirmiştir. Günümüzde de yaygın kullanım alanı bulan yöntem; atık suların deniz deşarjı sistemleri ile alıcı ortamda seyreltilmek suretiyle sahilinden belirli uzaklık ve derinlikteki bir noktadan deniz ortamına verilmesi ilkesine dayanır. Bu çalışma kapsamında uygulamada kullanılan bir deşarj sistemini oluşturan difüzör ana borusu, çıkış boruları, çıkış ağızları, iç ve dış ortamı ABAQUS Sonlu Elemanlar Programı ile modellenmiştir. Sonlu Elemanlar Metodu ile yapılan bu çözümleme bütünleşik analiz olarak isimlendirilmiştir. Sistemin son iki açıklığı (20 m) ve bu açıklık üzerinde bulunan dört adet çıkış incelenmiştir. Difüzör çıkış borularının ve çıkış ağızlarının çap ve geometrisi aynı kalmak koşulu ile difüzör borusu üç farklı şekilde modellenmiştir. Bunlar; sabit, kademeli daralan ve tedrici daralan kesitli modellerdir. Sabit kesitli modelde iki açıklıklı difüzör ana borusu çapı 0,50 m, kademeli daralan kesitli modelde birinci açıklıkta ana boru çapı 0,50 m, ikinci açıklıkta 0,40 m, tedrici daralan kesitli modelde ise birinci açıklık başlangıç çapı 0,50 m ikinci açıklık bitiş çapı ise 0,40 m'dir. Tüm modellerde çıkış borularının ve çıkış ağızlarının çapları sabit ve 0,13 m'dir. Çıkış ağızları daireseldir (çan ağızlı). Modellerin et kalınlıkları sabit ve 0,01 m'dir. Belirlenen geometrik özelliklerin difüzör akım şartlarını sağladığı yazılan DIFDES kodu ile tahkik edilmiştir. Dış akışı modellemek için 20 m yüksekliğinde 25 m boyunda 1,50 m genişliğinde bir dikdörtgen prizma geometrisi oluşturulmuştur. Dış akış modellemesinde literatürde rastlanan durgun ortam kabulünün yanında dalgalı ortama görede çözümleme yapılmıştır. Dış ortamın durgun ya da dalgalı olmasına göre difüzör çıkış hızlarındaki değişim ve dış akışın iç akışa etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Dalgalı dış ortam modellemesinde Lineer Dalga Teorisi kullanılmıştır.

Akışkan-yapı etkileşim problemlerinin çözümünde akışkanın boru üzerinde birtakım etkilere sahip olmasına karşın borunun da akışkan üzerinde etkileri söz konusu olmaktadır. Akışkan-yapı etkileşiminin bir arada çözümlenmesi gerekmektedir. Akışkan problemi bir ortamda, boru problemi ise bir başka ortamda çözümlenebilir. Ancak yapısal sistemin davranışı ile akışkan hareketi bir arada değerlendirilmemiş olacaktır. Akışkan iç basınç değişiklikleri karşısında borunun rijitliği birbirlerini etkileyemeyecektir. Tez çalışmada ayrık ve bütünleşik analiz olarak adlandırılan iki yol izlenerek analizler tamamlanmıştır. Ayrık analizde; akışkanın boru rijitliğini etkilemediği, akışkan kuvvetlerinin yazılan bilgisayar kodu (HYDRODIF) ile hesaplanması ve dışarıdan Sonlu Elemanlar Programına (SAP 2000) aktarılması yolu izlenmiştir. Ayrık analizde; difüzör borusu çıkış hızları ve akışkan iç-dış basınçları HYDRODIF kodu ile difüzör deplasmanları ve Von Mises gerilmeleri ise SAP 2000 programı ile elde edilmiştir. Bütünleşik analizde ise akışkan ve difüzör ABAQUS Sonlu Elemanlar Programı ile tek bir ara yüzde modellenmiş, akışkan yapı etkileşimi sağlanmış ve ayrık analizde farklı analizlerden elde edilen çıktılar aynı analizden elde edilmiştir. Gerek ayrık gerekse bütünleşik analizden elde edilen sonuçların uyumları tespit edilerek önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: ABAQUS (Sonlu Elemanlar Metodu), akışkan-yapı etkileşimi, deniz deşarj difüzörleri, dış akış, iç akış.

DESIGN OF SUBMARINE OUTFALL SYSTEMS UNDER INTERNAL AND EXTERNAL FLOW

Abstract

In this age and time, elimination of the urban and industrial liquid waste has become important by paying attention to environmental and human health. Discharging of waste water to the sea after pretreatment has been a current issue due to high cost of the systems after pretreatment. This method which is also widely used in our day is based on giving the waste water by diluting in receiving environment and using sea discharge systems from one point that is deep and far from the seaside to the sea environment. In the scope of this study, main pipe of the diffuser, risers and outlet ports, inner and outer environments forming the discharge system which is used in application are modeled by ABAQUS finite elements program.

This solution which is performed by finite elements method is named as integrated analysis. The last two spans of the system (20 m) and four outlet ports on these spans are investigated. While the diameter and geometry of the risers and outlet ports of the diffuser remain constant, the diffuser pipe is modeled in three different ways. These are constant, stepped narrowing and gradually narrowing sectioned models. While diameter of the two-span main diffuser pipe is 0,50 m in constant sectioned model, diameter of the main pipe is 0,50 m in the first span and 0,40 m in the second span in stepped narrowing sectioned model and beginning diameter of the first span is 0,50 m and ending diameter of the second span is 0,40 m in gradually narrowing sectioned model. Diameters of the risers and outlet ports are taken as 0,13 m in all models. Outlet ports are circular (bell-mouth). Pipe thicknesses of the models are 0,01 m. Provision of the diffuser flow conditions according to geometric properties are verified by DIFDES code. A rectangular prism geometry which has 20 m height, 25 m length and 1,50 m wide is created to model the outer flow. The solutions are performed according to wavy environment as well as stationary environment assumption which is prevalent in the literature in outer flow model. Change in outer velocities of the diffuser according to stationary and wavy outer environment and effect of outer flow on inner one are investigated and the results are compared. Linear Wave Theory is used in wavy outer model.

While fluid has some effects on the pipe, the pipe has also some effects on fluid in the solution of the fluid-structure interaction problems. Fluid-structure interaction shall be analyzed together. While fluid problem is analyzed in one environment, the pipe problem can be analyzed in another one. However, behavior of the structural system and movement of the fluid is not evaluated together in this case. Rigidity of the pipe is not effected against change in inner pressure values of the fluid. Two ways as separated and integrated analyses are performed in this thesis study. In separated analysis, rigidity of the pipe is not effected by the fluid and fluid forces are calculated by a computer code (HYDRODIF) and transferred to finite elements program (SAP 2000). In separated analysis, outer velocities of the diffuser pipe and inner-outer pressures are obtained by HYDRODIF code, diffuser displacements and Von Mises stresses are obtained by SAP 2000 program. In integrated analysis, fluid and diffuser are modeled by ABAQUS finite elements program in one single interface, fluid-structure integration is provided and the results which are obtained after several solutions in separated analysis are obtained in the same analysis. The relationship between the separated and integrated analyses is stated and suggestions are proposed.

Keywords: ABAQUS (Finite Elements Method), external flow, fluid structure interaction, internal flow, submarine outfall diffusers.

1. GİRİŞ

Deniz deşarjı sistemlerine ilişkin Çevre Kanunu ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde "*denize kıyısı olan yerleşimler ve kıyı bölgelerinde bulunan endüstriler için, alıcı ortamda yeterli seyreltme kapasitesinin bulunduğu ayrıntılı mühendislik çalışmalarıyla kanıtlanması halinde, atık suların ve soğutma sularının deniz deşarjlarıyla bertarafına izin verilir*" denilmektedir. Bu yasal düzenleme ile birlikte bütün dünyada da kabul gören ve uygulanmakta olan sistem; atık suların deniz deşarjı sistemleri ile alıcı ortamda seyreltilmek suretiyle sahilinden belli uzaklık ve derinlikteki bir noktadan deniz ortamına verilmesi ilkesine dayanır. Bu sırada meydana gelen seyremler sonucunda da kıyı şeridinde gerekli hijyenik koşullar sağlanmalıdır. Deniz deşarjı sistemi arıtılmış atık suyun rekreasyon amaçlı kullanımına olanak sağlayan ve deniz ortamında olumsuz çevresel etkiye sebep olmayacak altyapı tesislerini bünyesinde bulunduran sistemdir. Doktora tez çalışmasının yaygın kullanım alanını bulunan, insan ve çevre sağlığı açısından büyük öneme sahip olan deniz deşarjı sistemlerinin tasarımı üzerine yapılması amaçlanmıştır.

1.1. Genel

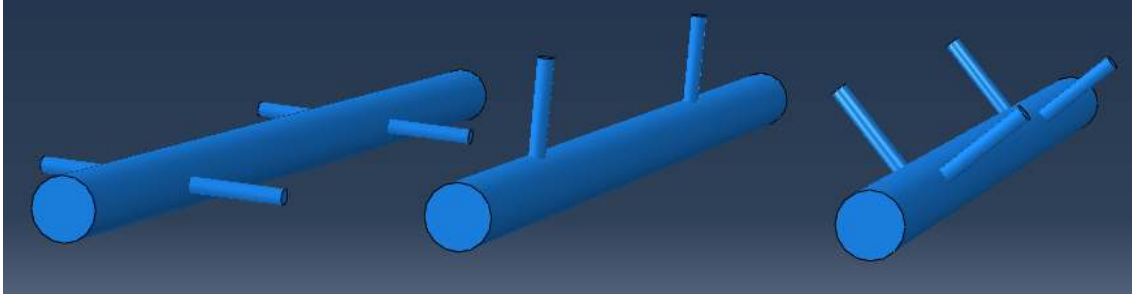
Kentsel sıvı atıkların, soğutma amaçlı kullanılan suların, deniz suyundan içme-kullanma suyu elde etme tesislerinden çıkan konsantre suyun, sanayi tesislerinin sıvı atıklarını denizlere ulaştırılarak bertaraf edilmesinde deniz deşarjı sistemleri birincil arıtma sonrası sıklıkla kullanılmaktadır. Deniz deşarjı sistemleri; deşarj alanına atık suyu ileten boru hatlarından, deniz ortamına çıkışı sağlayan difüzörlerden ve karadaki hazneden iletilecek atık suya enerji veren pompa sistemlerinden oluşmaktadır. Seyrelme yoluyla atık suyu deşarj edecek belli aralıklarda ve çaplardaki çıkış borularına sahip difüzörler, genellikle, boru hatlarının son kısımlarına yerleştirilirler. Difüzörler, boru hatlarında olduğu gibi deniz tabanına serbest döşenmiş, tespit kitleleri üzerinde askıda ve deniz tabanında gömülü biçimde inşa edilirler.

Atık suların birincil arıtılma işlemlerinin akabinde ikinci arıtma ya da deniz deşarjları yapılarak tam ya da kısmi arıtılmış suların deniz ortamında seyreltilmesi difüzörlerle yapılmaktadır. İkincil arıtmanın yüksek maliyet gerektirdiği durumlarda genellikle tercih edilen yol; deniz ortamında birincil arıtma sonrası seyreltmedir. Bu gereksinimden dolayı inşa edilen deniz boru hatları ile atık suyun deniz ortamının uygun lokasyonunda deşarjı yapılmaktadır.

Deniz deşarjı borularının bir ucu, arıtılmış ya da depolanmış suları deniz ortamına belli hız ve debide gönderecek pompa istasyonuna bağlı olup, diğer ucu da uygun konumdaki deşarj noktasındaki difüzöre uzanmaktadır. Uygun deşarj ortamı; hidroğrafik, oşinoğrafik, geoteknik, yapısal ve çevresel açıdan elverişli deniz ortamıdır. Deşarj noktasına doğru uzanan deniz boru hatları; gömülü, deniz tabanına serbestçe oturan ya da askıda tasarlanmaktadır.

Deniz boru hatlarının güzergah seçimi, hidrolik-hidrodinamik analizi, geoteknik analizi, yapısal analizi ve diğer tasarım unsurları, bu çalışmada kapsamında yer almamaktadır. Çalışmada; boru hattının ucunda yer alan difüzörün hidrolik, hidrodinamik ve mekanik açıdan uygun tasarımı amaçlanmaktadır. Difüzörün çıkış boruları;

ana boru eksenine dik (yatay ve düşey düzlemde dik açılı) ya da yatay-düşey düzlemle açılı olarak Şekil 1.1'de görüldüğü gibi tasarlanabilmektedir.



Şekil 1.1. Difüzörün boru eksen diki yatay, dikey ve açılı çıkış boruları

Her bir çıkış borusu, difüzör içi akışta hidrolik ve hidrodinamik parametrelerde değişime neden olacaktır. Bu nedenledir ki; difüzör boyunca her bir çıkış borusunun gerektirdiği analizler ayrı ayrı incelenmektedir.

Bu çalışmada; farklı fiziksel özelliklere sahip difüzörlerin, değişen çevresel ve işlevsel koşullar altında ortaya çıkan dış ve iç akış kökenli hidrolik-hidrodinamik yükler altında tasarımı amaçlanmıştır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Difüzörlerin çıkış boruları; tek bir ana borudan boşaltım alanına iletilen atık suyun deniz ortamında seyreltilmesine yardımcı olan çoklu boşaltım sistemidir. Çoklu çıkış sisteminde borular; belli aralıklarda ya sabit kesitli ya da farklı kesitli olarak tasarlanabilmektedir.

Difüzörün çoklu çıkışlı olması durumunda, çıkışlar belli aralıklarda yerleştirilmekte dolayısıyla çıkışlar arasında debi eksilmesi söz konusu olmaktadır. Difüzörün uç kısmına doğru belli aralıklarda eksilen debi; ana dağıtım borusunda daha küçük kesitlerin var olmasını gerektirmektedir. Bu nedenledir ki çoklu çıkış sistemli difüzörlerin ana dağıtım boruları sabit, kademeli daralan ve tedrici daralan biçimlerde tasarlanmaktadır.

Bu çalışmada; çoklu çıkış sistemli difüzörlerin çıkış boruları sabit kesitli belli aralıklı ve dikey olarak ana boru hattına yerleştirilmiştir. Ana dağıtım borusu ise sabit, kademeli daralan ve tedrici daralan olmak üzere üç şekilde de incelenmiştir.

Difüzör içindeki artırılmış atık suyun hidrolik analizinde kararlı durumuna göre boru içi akış koşulları tayin edilmektedir. Akış parametrelerinin tayininde temel akışkan denklemleri kullanılmaktadır. Difüzördeki kesit değişikliğinden ve sürtünmeden kaynaklanan enerji kayıpları ile çıkış borularındaki ve ağızındaki kayıplar, yapılan hidrolik analizlerde dikkate alınmaktadır.

Difüzör dışında ise deniz ortamındaki oşinoğrafik koşullardan kaynaklanan dalga ve akıntı etkileri söz konusudur. Difüzör; su derinliğine, dalga yüksekliğine ve dalga periyoduna bağlı olarak farklı dalga teorileriyle

izah edilebilecek dalga kökenli farklı hidrodinamik kuvvetlerin etkisine maruz kalacaktır. Dalga ve akıntı etkileri; difüzör ana borusu etrafındaki akış koşullarını değiştirmekte ve dolayısıyla difüzörün dış akış kökenli hidrodinamik kuvvetler etkisinde stabilizasyonunda sorunlar meydana gelmektedir.

Difüzör ana borusundaki iç ve dış akış etkileşiminden doğan dinamik kuvvetler neticesinde boru hattında dinamik analiz yapma gereği ortaya çıkmaktadır. Dalgalı deniz ortamında konuşlandırılan ya da oşinoğrafik bakımdan sakin bir deniz ortamında tasarlanmış olmasına rağmen mevsimsel değişim etkisiyle dalgalanan deniz ortamında yer alan difüzörler üzerindeki dalga kökenli hidrodinamik kuvvetler; düzensiz (rastgele, periyodik rastgele) ya da düzenli dalga formuna bağlı olarak tanımlanmaktadır. Zamanla değişken olan bu kuvvetler boru hattında titreşim ve salınımların doğmasına sebep olmaktadır.

Çoklu çıkış ağzlarında sabit bir debi belli bir basınç altında deşarj edilirken iç akış parametrelerinden hız ve basınçta bir kararlılık söz konusudur. Ancak dış akış koşullarından kaynaklanan dalga kökenli dış basıncın; çoklu çıkış borularının ağzlarında zamanla yönü ve şiddeti değişen bir etki oluşturduğu bilinmektedir. Dolayısıyla; çıkış ağzlarındaki basınç değişikliklerinin iç akışta düzensizliklere yol açtığı ve difüzörün titreşimine neden olan hidrodinamik kuvvetleri doğurduğu belirlenmiştir.

Difüzörler, genellikle, iç ve dış etkisinde stabilite analizine göre tasarlanmaktadır. Stabil bir difüzör ana dağıtım borusunda; yatay ötelenmeye, düşey deplasmana, boyuna deplasmana ve yüzmeye izin verilmez. İç ve dış akış ortamına göre yapılan stabilite analizi ile boru cidar kalınlığı, çapı ve tespit kitleleri ile yapılan mesnetler arası açıklıklar belirlenmektedir. Ancak dalga-akıntı kökenli hidrodinamik dış kuvvetler ve iç-dış basınç kuvvetlerinin etkileşiminden kaynaklanan, difüzör iç basınç düzensizliğinin sebep olduğu hidrodinamik iç kuvvetler, boru cidar kalınlığı, boru çapı ve sözkonusu mesnetler arası açıklık değerlerini değiştirmese de boruların birleşimlerindeki mekanik ek yerlerinde titreşim ve salınımdan doğacak hasarların doğmasına sebep olacaktır. Bu nedenledir ki çalışmanın içeriğinde difüzörlerin dinamik analizine yer verilmiştir.

Bu tez kapsamında; sinüsoidal dalga (Lineer Dalga) teorisine dayalı dalgalar etkisindeki değişken kesitli ve çoklu çıkışlı difüzörün iç-dış akış kökenli hidrodinamik yükler altındaki dinamik analizinin, akışkan-yapı etkileşimine dayalı nümerik bilgisayar destekli modelleme ile yapılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada; stabilizasyon çalışmaları ile yetinilen deniz deşarj difüzörlerinin iç ve dış akış etkisindeki dinamik analizi, bilgisayar destekli nümerik modelleme ile yapılmıştır. Literatürde değinilen çalışmalarda; iç ve dış akışın boru ile etkileşimine dayalı bir modelleme; hidrodinamik kuvvetler etkisinde difüzörün titreşimi; difüzörde zamanla değişen deformasyon, deplasman ve gerilme dağılımları; değişken kesitli difüzörler üzerinde akışkan-yapı etkileşimine dayalı bilgi eksikliklerinin varlığının tespit edilmesi üzerine yapılan bu çalışmanın özgün nitelik taşıyacağı dikkate alınmıştır. Deniz suyu ile atık suyun yoğunluk farklılıkları üzerine bir çalışma yapılmamıştır.

1.3. Çalışma Yöntemi

Bu çalışmada; deniz deşarj sisteminin tasarımı aşamasında özellikle atık suyun deniz ortamında seyrelmesine olanak sağlayan farklı fiziksel özelliklere sahip difüzörler, değişen çevresel ve işlevsel koşullar altında

modellenmiştir. Bu koşulların neden olduğu iç ve dış akış kökenli hidrolik-hidrokinamik yüklerin akış ve yapısal özelliklere etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır. İç akış nedeniyle difüzör içinde iç basınç ile deşarj noktalarındaki dış basınç kuvvetleri hesaba katılarak boru içi hidrolik analiz yoluna gidilmiştir. Difüzör sisteminin her deşarj noktası akabindeki kesitleri değişen difüzörün belirli noktalarında iç-dış akım ve basınç koşulları dikkate alınarak enerjinin konumuna uygun akış parametreleri hesaplanmıştır.

İç akışın enerjisi difüzör sonunda tükenecek biçimde boru iç akışı ve terfi yüksekliği hesaplanabilmektedir. Difüzörün çıkış borusundan deşarj edilen atık suyun debisi kademeli olarak azalarak difüzör ucuna doğru ilerlemektedir. Azalan debiye karşılık gelen sabit hızlı akış hali kademeli veya tedrici olarak borunun kesitinin değişimine olanak sağlar. Ancak azalan debiye karşılık genellikle borunun kesiti değiştirilmemektedir. Bu çalışmada azalan debiye karşılık boru hattının kesiti de daraltılarak, azalan debiye karşılık kesit değişimi olmaması durumuna göre kıyaslama yapılmıştır.

İç akış karakteristikleri belirlenirken kararlı akış hali göz önünde bulundurulmuştur. Deşarj sistemlerinde; pompaların aniden devreye girmesi-devreden çıkması, vanaların devreye girmesi gibi durumlarda kararsız akış hali ortaya çıkmaktadır. Bu durumun işletim mekanizmalarının uygun kullanımıyla ortadan kalkacağı bilinmektedir. Bu çalışmada iç akışın kararlı olduğu durum için çözümleme yapılmıştır. İç akış karakteristiklerinin belirlenmesinde dış ortam da göz önünde bulundurulmuştur. Bilinmektedir ki deniz dalgaları doğada düzensiz haldedirler. Bu dalgalar farklı yollar kullanılarak düzenli dalgalar haline getirilebilirler. Bu çalışmada deniz ortamı en genel kullanılan Lineer dalga teorisi ile modellenmiştir. İç-dış akış birlikteliğinin modellenmesinde temel akışkanlar mekaniği denklemleri ve dalga mekaniği denklemleri kullanılarak MATLAB programında HYDRODIF (Difüzör Hidrolik ve Hidrokinamik Analiz) yazılımı adı altında spesifik bir kod hazırlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar ABAQUS/CFD programı ile karşılaştırılmıştır. ABAQUS/CFD; ABAQUS programının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği modülüdür. ABAQUS/CAE ara yüzü ile kullanılarak modellenen boru içi akım ve dalgalı dış ortama ait basınç, hız parametreleri elde edilebilir.

Yapısal modelleme aşamasında ABAQUS/EXPLICIT programı kullanılmıştır. Bu aşamada ABAQUS/CFD'den elde edilen parametreler yapı üzerine yüklenmiştir. ABAQUS/CFD ve ABAQUS/EXPLICIT ortak kullanılarak akışkan-yapı etkileşimi dışarıdan bir müdahale olmadan bilgisayar yazılımı kullanılarak modellenmiştir.

1.4. Literatür Araştırması

Difüzörlere ilişkin çalışmalar incelendiğinde genellikle sıvı ve gaz dağıtan iki farklı difüzör tipi ile karşılaşılmaktadır. Çalışma konusu olan atık su deşarjlarında dağıtıcı ve seyreltici olarak kullanılan ve içinden akışkan geçiren difüzörlerdir. Son yıllarda yapılan literatür araştırmalarına aşağıda değinilmektedir.

Hunt ve diğerleri (2010) tarafından yapılan çalışmada, fiziksel ve yapısal özellikleri belli bir difüzör modeli ele alınmıştır. Difüzör ve boru hattı gömülü olarak tasarlanmıştır. Difüzörde değişken kesitli ana boru

kullanılmıştır. Merkezden kaçık olarak daralan ana boru deşarj sistemlerinde farklı geometrik özellikteki kesitlerin kullanılabilirliğini göstermektedir. Bu nedenle tez çalışması kapsamında kullanılan kesite benzer ancak merkezden daralan ve tedrici daralan kesitlerin incelenmesi gerçekleştirilmiş ve kesitlerin birbirlerine göre akışkan parametrelerinin ve cidarda oluşan gerilmelerin değişimleri açısından üstünlükleri ve zayıflıkları ortaya konulmuştur. Yayında, kesit yapısına ek olarak, dış ortamdaki deşarj suyunun seyrilmesini esas olarak incelemektedir.

Bleninger ve diğerleri (2010) yaptıkları çalışmada ise çok sığ sularda benzer biçimde hem boru hattı hem de değişken kesitli difüzör ana borusu gömülü olarak tasarlamışlardır. Çıkış borularının boru eksenini ile düşey düzlemde diktir. Difüzör ana borusundaki daralan kesit değişimi nedeniyle boru içi akıştaki hidrolik parametrelerdeki değişim incelenmiştir.

Bleninger ve Jirka (2005) çalışmalarında ise durgun halde deniz ortamına atık su deşarj eden tam gömülü ya da kısmi gömülü boru hatlarının boru içi hidrolik analizini detaylı olarak incelemişlerdir. Enerji kayıplarını temel akışkanlar mekaniği esaslarına göre irdeleyen ancak dış ortamı durgun su olarak esas alan bir çalışma niteliğindedir. Gerek söz konusu çalışmada gerekse Bleninger tarafından yapılan diğer çalışmalarda dış ortamın sabit hızlı kararlı olduğu kabulü yapılmıştır. Elde edilen denklemler kararlı akışa ait parametreleri içermektedir. Bu durumun çözümü kolaylaştırdığı ancak modeli gerçekçi bir yaklaşımla ortaya koymadığı bilinmektedir. Tez çalışması kapsamında, literatürde göz ardı edilen kararsız akım halinin kararlı akım haline göre modeller üzerine etkisi incelenecek ve kararlı dış ortama göre yapılacak basit çözümün sağladığı kolaylığın sonuçları olumsuz etkileyip etkilemediği gözlemlenmiştir.

Difüzör tasarımında yaygın olarak kullanılan çıkış borularının dışında ördek ağızlı olarak da isimlendirilebilen çıkış yapısı ise Duer ve Salas (2009) tarafından incelenmiştir. Bu tip çıkış yapılarında dış ortamın difüzörün içine nüfuz ederek iç akış hızını azaltması önleneyeceği vurgulanmıştır. Difüzör içine akışkan girişini engellemek amacıyla ortaya konan bu çalışmada ördek ağızlı çıkışların üstünlüklerinin vurgulanmasının yanı sıra daralan ağızdan kaynaklanan enerji kaybı ve buna bağlı olarak da difüzörün hidrolik kapasitesi tayin edilmiştir. Doktora çalışmasında kullanılan çan ağızlı (dairesele çıkışlarla) hidrolik kapasite açısından büyük bir fark olmadığı yapılan çalışmada gözlemlenmiştir. Gerek bu nedenle gerekse ABAQUS programında bu tip kesitlerin çözümünün güçlüğü nedeniyle tez çalışmasında kesit yapılarının değiştirilmesi yoluna gidilmemiştir.

Farklı çıkış yapılı difüzörlere Makine Mühendisliği alanında da rastlanmaktadır. Gopaliya ve diğerleri (2011), Gopaliya ve Chaudhary (2010) yaptıkları çalışmalarda ANSYS programı ile içinden farklı hızlarda ve dolayısıyla farklı Reynolds sayılarında hava geçen S ve Y tiplerinde difüzörlerin dinamik davranışı incelenmişlerdir. Farklı çıkış boruları kullanılan bir diğer çalışmada ise Chen ve Sparrow (2009) boru üzerinde açılan deliklerle çıkış borusuz hava deşarjını incelemişlerdir.

Fiziksel modellerin yanı sıra difüzörün bulunduğu ortamı göz önünde bulundurularak iç ve dış akış modellemeleri yapılan çalışmalar ise aşağıda verilmiştir.

An ve diğerleri (2011) çalışmalarında dış akış etkisiyle boru hattı etrafında oluşan vorteks ve basınç dağılımları incelemişlerdir. Gömü derinliğinin çapa oranları, kararlı akıntı hızlarının dalga genliğine oranları ve Keulegan-Carpenter katsayıları için bilgisayar destekli modelleme yapılmıştır. Bu çalışmada geçirimli zemin üzerinde kısmi gömülü boru üzerinden geçen dalga ve kararlı akış birlikte ele alınmıştır. Boru hattı üzerinde oluşan sürüklenme, atalet ve kaldırma kuvveti katsayılarının akım parametreleri ile değişimi nümerik olarak incelenmiştir. Boru etrafındaki basınç dağılımları değişen akım koşulları için ayrı ayrı incelenmiştir.

Chatjigeorgiou (2010) tarafından yapılan çalışmada iç ve dış akış etkisinde boru dirseğinin dinamik davranışı incelenmiştir. Jippolina ve diğerleri (2004) çalışmalarında tek çıkış borulu ani daralan boru ağzından fışkıran atık suyun yayılmasını, yörüngesini ve seyrelmesini incelemişlerdir. Bu tip çıkışların difüzörler de kullanılabilirliği ördek ağızlı çıkış olarak diğer difüzör yayınlarında gözlemlenmiştir ancak modellemedeki güçlük nedeniyle bu tez çalışması kapsamında ördek ağızlı çıkış yerine çan ağızlı çıkış kullanılmıştır.

Zagbloul (1997) çalışmasında kademeli değişen kesitli borunun sabit yada değişken pürüzlülük değerleri dikkate alınarak iletilecek debi miktarı Explicit ve Karakteristikler yöntemi kullanılarak nümerik olarak hesaplamıştır. Debi miktarının pürüzlülükle değişimi üzerine incelemeler yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan kademeli değişen kesit tez çalışması kapsamında kullanılarak kesit değişimlerinin gerek akışkan gerekse yapı üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Qing ve diğerleri (2006) çalışmalarında; boru kesit birleşim noktalarında meydana gelen eksenel kuvvetler ve basınç dalgalanmalarını incelemişlerdir. Dış akışın kararsız olduğu durum göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmada analitik olarak elde edilen basınç dalgalanmaları tez çalışması kapsamında görsel olarak elde edilmiş ve basınç dalgalanmalarının iç akışa etkisi görsel olarak elde edilmiştir.

Tijsseling (2007) çalışmasında; ince cidarlı borularda boru içi hidroliği, su darbesi ve basınç yayılımı ile boru cidarlarındaki gerilmeler irdelenmiş ve analitik modelleme yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında su darbesi olayı ihmal edilmiş ancak kararsız dış akışın varlığı ile kararlı iç akışta meydana gelen dalgalanmalar gözlemlenmiş fakat analiz süresi boyunca kararsızlık durumunun iç akışı olumsuz yönde etkilemediği gözlemlenmiştir.

Aksenov ve diğerleri (2004) tarafından yapılan çalışmada ise sıvı dolu bir tank içersindeki çalkantının modellemesinde FlowVision programı ile sıvı modellemesi, ABAQUS ile de tankın katı modellemesi yapılmıştır. Her iki programdan veri akışı sağlanarak katı cisim olarak modellenmiş olan tank cidarlarında çalkantıdan kaynaklı cidar gerilmeleri nümerik olarak modellenmiştir. Bütünleşik model olarak tez çalışmasında kullanılan yöntem söz konusu çalışmada farklı bir yapı için uygulanmıştır. Ancak farklı program kullanılarak etkileşim sağlanmıştır. Tez çalışmasında ise gerek iç akış gerekse dış akış ABAQUS programı ile modellenmiştir.

İç ve dış akış etkisinde boru hatlarının yapısal davranışının incelendiği çalışmalar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Achouyab ve Bahrar (2011) yaptıkları çalışmada su darbesi etkisiyle boruda meydana gelen vibrasyonu dikkate alarak nümerik modelleme yapmışlardır. Abeele ve diğerleri (2008) çalışmalarında Comsol programını kullanarak deniz boru hattı etrafındaki vorteks kökenli salınımlar nümerik olarak incelemişlerdir. Hansson ve Sandberg (2001) tarafından yapılan çalışmada dış basınç nedeniyle oluşan su darbesi göz önünde bulundurularak boru iç basıncı eksenel gerilmesi ABAQUS programı ile iki farklı şekilde; dik ve dirsek olmak üzere modellenmiştir.

Xue ve Fatt (2001) ve Xue (2006) çalışmalarında paslanma etkisiyle boru cidarlarında bükülmeler ve bükülmelerin yayılması ortaya çıkmıştır. Söz konusu çalışmalarda dış ortam modellenmeden sadece yapı üzerindeki etkisi kesit zayıflaması olarak değerlendirilmiştir. ABAQUS yazılımı kullanılarak gerek zayıflatılmış gerekse zayıflatılmamış kesitler modellenmiş, hasarın boyutları incelenmiştir. Tez çalışması kapsamında ise dış ortamda sözü edilen program tarafından modellenerek gerçekçi bir model ortaya konulmuştur.

Aldraihem ve Baz (2002) yayınlarında kademeli millerin frekanslarının Rayleigh ve Rayleigh-Ritz metodları ile hesaplanmasını ve Erol (2005) ise yayınında içinden kütle akımı geçen kademeli değişken kesitli kirişlerin dinamik davranışını sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişlerdir. Sözü edilen çalışmalarda Makine Mühendisliği alanında kullanılan modellerin kirişe benzetilerek çözümlenmesi yoluna gidilmiştir. Difüzörlerde kiriş benzetimi yapılarak çözümleme imkanının olduğu ve söz konusu çalışmalarda kullanılan geometrilerin difüzör kesitlerine benzerliği nedeniyle tez çalışması kapsamında farklı geometrilerde modellerin kullanılması oluna gidilmiştir.

Hellum (2010) tarafından yapılan çalışmada, boru iç akışının laminar ve türbülanslı modellemesi yapılmıştır. Akışkan-boru etkileşimi ile boru, Euler-Bernoulli kirişine benzetilerek çözümlenmiştir. Tez çalışması kapsamında kullanılan iki yöntemden biri olan ayırık sistem analiz bu çalışma ile benzerlik göstermektedir. Sisteme etki eden dış yükler etkileşimsiz olarak elde edilmiş ve yapıya etki ettirilmiştir. Tez çalışmasında bu benzer yöneme ek olarak bütünlük modelleme yoluna da gidilerek etkileşimsiz ve etkileşimli çözümler karşılaştırılmış ve sonuçların uyumu gözlemlenmiştir.

Aldraihem ve Baz (2002) ve Erol (2005) tarafından yapılan çalışmalarda, kademeli değişken kesitli kirişler üzerine yapılan çalışmalar yer almaktadır. Difüzör ana borusunda çıkış borularında debi eksilmesi olacağından daralan bir kesit söz konusu olacaktır. Kademeli kirişin dinamik davranışı ile difüzör ana borusunda kesit daralmaları benzer özellikler göstermektedir. Difüzörler üzerine yapılan araştırmalar incelendiğinde kademeli kiriş kullanıldığı ancak dinamik davranışının incelenmediği görülmüştür. Kademeli daralan difüzör modellemesine ilaveten bu çalışma kapsamında tedricen (konik) daralan difüzör de modellenmiştir.

Atık su deşarj difüzörlerinin çıkış yapıları dirsek şeklinde (L tipi) modellenmektedir. Literatür araştırmalarında Gopaliya ve diğerleri (2011), Gopaliya ve Chaudhary (2010) ve Chen ve Sparrow (2009) içinden akışkan geçen boruların dirseklerinde oluşan akış parametrelerindeki değişimi incelemiştir. Difüzörde de çıkış

boruları L tipi dirsek biçiminde olup akış üzerinde benzer çalışmalar yürütülmüştür. Ancak söz konusu yayınlarda S ve Y tipi çıkışlarda “hava akışı” vardır. Difüzör dirseklerinde ise sıvı akışları dikkate alınmaktadır.

ABAQUS programı ile boruların katı modellemesine; Xue (2006) ve Xue ve Fatt (2001) ve Abeele ve diğerleri (2008) yayınların da rastlanmaktadır. Ana borunun modellemesine rastlanmasına rağmen difüzörlerin ABAQUS programı ile modellemesi daha önce yapılan çalışmalarda rastlanmamaktadır. Bu çalışma kapsamında farklı fiziksel özelliklere sahip difüzörlerin ABAQUS katı modelleri oluşturulmuştur.

Hunt ve diğerleri (2010), Bleninger ve diğerleri (2010) ve Duer ve Salas (2009) yayınlarında difüzör iç akışı üzerine çalışmalar yapmışlardır. Kararlı dış akış etkisinde dış ortamdaki seyrelme dikkate alınmıştır. Kararsız dış akışın varlığı bu çalışmada dikkate alınarak, iç ve dış akış bütünlük bir model ortaya konulmuştur. Ancak bu çalışmalarda akışın modeller üzerindeki etkileri incelenmemiş sadece akışkan çözümlemesi yapılmıştır. Tez çalışmasının literatürdeki difüzör üzerine yapılan çalışmalara katkısı bu yönde olmuştur. Aksenov ve diğerleri (2004) çalışmalarında ABAQUS ve FlowVision programlarını birlikte kullanarak akışkan-yapı etkileşimine ilişkin modelleme yapmışlardır. Bu çalışmada ise hem iç ve dış akışkan hem de katı cisim olarak boru cidarları modellemesinde yalnızca ABAQUS programı kullanılmıştır.

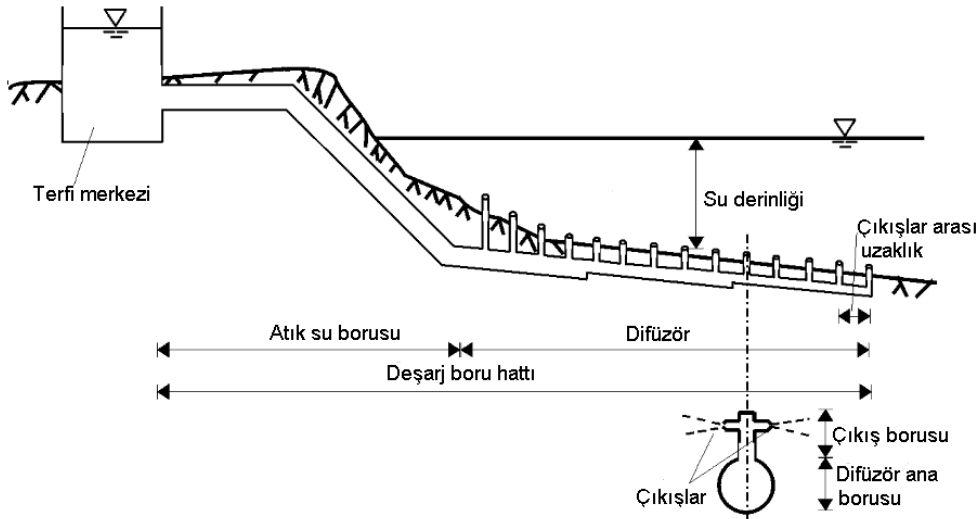
Bu değinilen nedenlerden dolayı bu çalışma kapsamında; boru içi akış modellemesi, boru dışı dalgali ve durgun akış modellemesi ile katı cisim olarak difüzör modellemesi ABAQUS programı ile yapılmıştır. Difüzör; sabit çaplı-aralıklı çıkış borulu ve borular ise L-tipi dirseklidir. Difüzör ana borusu ise sabit kesitli ve kademeli-tedrici daralan kesitli olmak üzere farklı biçimlerde tasarlanmış ve ABAQUS ile modellenmiştir. Bu çalışmanın *özgün niteliği* difüzörler üzerinde akışkan-yapı etkileşimine dayalı modellemenin ve akışkan-yapı farklılıklarını da içeren difüzör problemlerinin çözülmesi (özellikle ABAQUS ile) denilebilir.

2. DİFÜZÖR ANALİZLERİ

Difüzör analizleri ayırık ve bütünleşik olmak üzere iki farklı yol ile yapılmıştır. Ayırık analizde, DIFDES kodu ile kesit tahkikleri yapılan difüzörlerin hidrolik ve hidrodinamik analizleri HYDRODIF kodu ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler, SAP 2000 Sonlu Elemanlar Analiz programında modellenen difüzör ana borusuna etki ettirilerek yapısal analiz gerçekleştirilmiştir. Bütünleşik analizde ise geometrik özellikleri bilinen difüzörler ve iç-dış akış ortamları ABAQUS Sonlu Elemanlar Analiz programında modellenmiş ve analiz edilmiştir. Bütünleşik analizde tek bir ara yüz kullanılarak analizler tamamlanmıştır.

2.1. Difüzör Hakkında Genel Bilgiler

Deniz deşarj tesisleri; kıyıda bulunan atık su haznesinden suyu alıcı ortama (boşaltım alanına) ileten pompa, boru hattı ve hattın ucunda seyreltmeye yardımcı olan difüzörden oluşmaktadır. Şekil 2.1’de, kıyıda bulunan su alma yapısı (terfi merkezi), atık suyu alıcı ortama ileten şebeke tesisini oluşturan boru hattı ve atık suyu alıcı ortama yayan difüzör görülmektedir (Bleninger ve diğerleri, 2005).



Şekil 2.1. Deşarj hattını oluşturan kısımlar

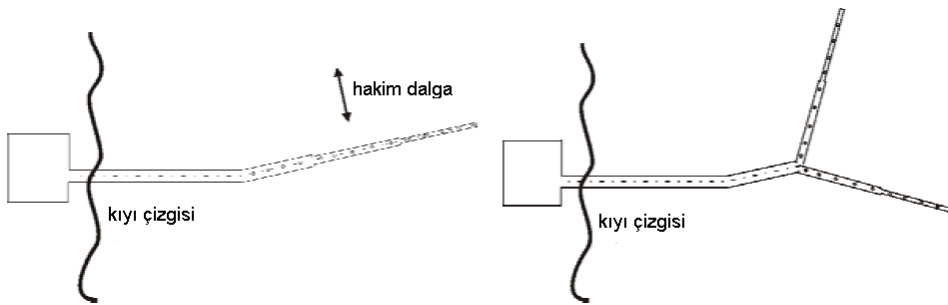
Kentsel-sanayi kökenli sıvı atıkların, soğutma amaçlı kullanılan tatlı ve tuzlu suyun, deniz suyundan içme-kullanma suyu elde etme tesislerinden çıkan konsantre tuzlu suyun kirlilik derecesine göre su alma yapısından önce kullanılan tesisler: ızgara, döner elek, kum tutucu bölme, yüzdürme birimi, havalandırma havuzu, ön arıtma tesisleri, son çöktürme birimi, gibi tesislerdir. Bunların kapasite ve teknik özellikleri, difüzörün hidrolik-hidrodinamik tasarımının dışında detaylı olarak belirlenmelidir.

Deniz deşarj tesislerini oluşturan yapılarda işletme koşullarına göre minimum ve maksimum debilerin iletilmesi mümkün olmalıdır. Dolayısıyla, olumsuz durumlarda ortaya çıkabilecek aşırı ve ani basınçların kontrolünü ve her koşulda boşaltım sisteminin düzgün çalışmasını sağlayacak donanım elemanlarının lokasyonlarının ve kapasitelerinin doğru belirlenebilmesi için detaylı bir hidrolik tasarım yapılmalıdır (Öztürk, 2011).

Deşarj boru hattının uzunluğu ve konumu; terfi merkezinin konumuna, değişen çevresel koşullara bağlı olarak seyrelmeyi sağlayacak özelliklere sahip deşarj alanının lokasyonuna, geoteknik-batimetrik ve yapısal açıdan elverişlilik unsurlarına bağlı olarak belirlenir. Boru hattı, seyrelmenin başlayacağı aynı zamanda difüzörün başlangıcı olan noktaya kadar uzanır. Hattın belli kısımları, özellikle sörf bölgesinde zemine gömülü olarak, hidrodinamik-batimetrik ve geoteknik nedenlerden ötürü askıda ya da tabana serbest oturacak şekilde modellenirler. Zemine gömülü boru hatlarında; geoteknik analiz yapılarak hattın yüzmesini, oturmasını ve burkulmasını, askıda; yüzmesini, sarkmasını ve vorteks etkisiyle salınımını ya da tabana serbest oturan modellerde; dalga-akıntı etkisiyle sürüklenmesini, yüzmesini ve oyulma etkisiyle oturmasını önleyecek hesaplamalar yapılır.

Boru hatlarında kullanılan malzeme boru hatlarının kullanım amacıyla doğrudan ilişkilidir. Kullanılan malzemenin ekonomik ömrü, fiyatı, pürüzlülüğü ve neden olduğu sürtünme kayıpları, zemin-dalga gibi dış etkilere dayanıklılığı, dış ortam özelliklerine karşı dayanıklılığı (korozyon), kolay montaj (esneklik) ve malzeme temini malzeme seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır. Kullanılan boru tipleri: font (pik), çelik, ön gerilmeli beton, plastiktir. Her birinin kendine göre üstünlüğü ya da zayıflığı vardır. Bunlar arasında çelik borular deniz deşarj hatlarında en çok kullanılan boru tipidir. Hızlı döşenebilme, sızdırmaz şekilde eklenebilme, dış etkilere karşı dayanımı çelik boruların üstünlükleri arasında sayılabilir. Bunun yanında hafifliğin neden olduğu yüzebilme zayıflığı yapay ağırlaştırma ile korozyon zayıflığı ise katodik koruma ile giderilebilmektedir.

Difüzörler; iletilen debinin miktarına göre Şekil 2.2'de görüldüğü gibi dal sistemde, tek ya da çift kollu (T-Y şeklinde) güzergahlara sahip olabilirler. Difüzörün çoklu çıkışlı olması durumunda; çıkışlar belli aralıklarda yerleştirilmekte, dolayısıyla çıkışlar arasında debi eksilmesi meydana gelmektedir. Difüzörün uç kısmına doğru belli aralıklarda eksilen debi; ana dağıtım borusunda daha küçük kesitlerin var olmasını gerektirmektedir. Bu nedenledir ki çoklu çıkış sistemli difüzörlerin ana dağıtım boruları sabit, kademeli daralan ve tedrici daralan biçimlerde tasarlanmaktadır. Kademeli daralma; merkezi ya da merkez dışı olabilir. Buna göre yerel yük kaybı dikkate alınacaktır (Hunt ve diğerleri, 2010).

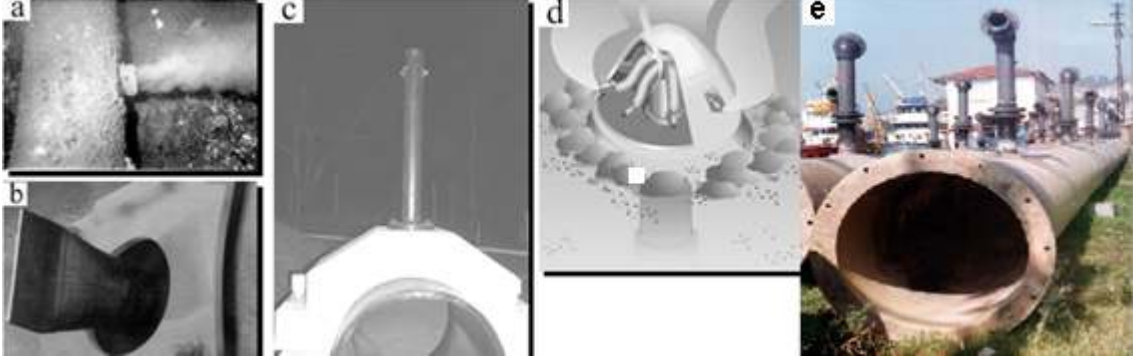


Şekil. 2.2.a. Tek kollu difüzör

Şekil. 2.2.b. Çift kollu (T-Y) difüzör

Difüzör, deniz tabanına serbest oturan boru biçiminde tasarlanmışsa boru üzerinden açılan deliklerle doğrudan deşarj yapılır (Şekil 2.3.a). Özellikle otomotiv sanayinde kullanılan manifoldlar bu tiptedir (Chen ve Sparrow 2009). Difüzör borusuna açılan deliklere yerleştirilen ördek ağızlı çıkış borularından (Şekil 2.3.b)

deşarj yapılabilir. Difüzör ana borusu farklı bir malzeme ile kaplanmış ya da zemine gömülü durumda ise difüzör ana borusuna düşeyde yerleştirilen boruların (riser) ucuna eklenen çıkışlar ile deşarj sağlanır (Şekil 2.3.c). Derin deşarjlarda rozet tipi (Şekil 2.3.d), aynı noktadan birden çok çıkış sağlayan borular kullanılabilir. Ördek ağızlı çıkışlara alternatif olarak çan ağızlı çıkış borusundan (Şekil 2.3.e) deşarj yapılabilir.



Şekil 2.3. Difüzör çıkış yapıları

Difüzör çıkış boruları üzerine yerleştirilen ördek ağızlı çıkışlar difüzörün içine tuzlu su girişini önlemek amacıyla geliştirilmiştir. Difüzör malzemesinden farklı olarak kauçuk ya da yüksek mukavemetli plastikten imal edilirler. Bu tip çıkışlar deşarjın az olduğu dönemlerde difüzörün içine tuzlu su ve katı madde girişini engeller, deşarjın çok olduğu dönemlerde de etkin deşarjı sağlarlar (Duer ve Salas, 2009).

Difüzörün içine tuzlu su ya da katı madde girişi nedeniyle büyük maliyetlerle inşa edilen difüzörler etkin kullanılamamaktadır. Katı madde nedeniyle difüzörde meydana gelen tıkanmaların giderilmesi de yüksek maliyetler ortaya çıkarmaktadır. Tuzlu su girişlerinde malzeme açısından daha ziyade; dalgalı ortama ilişkin deniz suyunun dış basınç etkisiyle boru iç akışında meydana getireceği düzensizliklere önlem almak gerekmektedir. Bu çalışmada çıkış borusunun içine giren deniz suyunun iç akış üzerindeki etkileri görülebilmektedir.

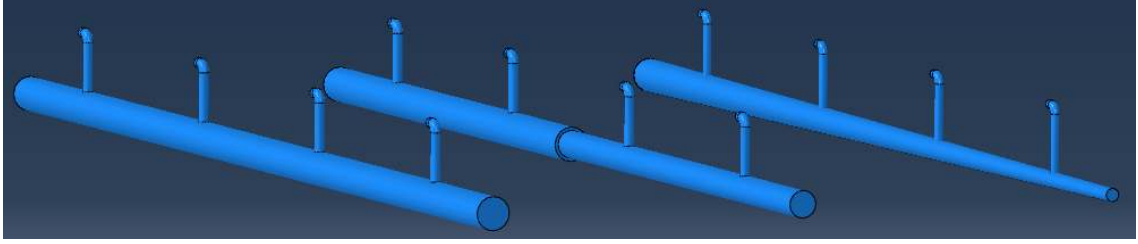
2.2. Difüzörün Ayırık Analizi

Dalgalı deniz ortamı kararsız dış akışa, dalgasız deniz veya göl ortamı ise kararlı dış akışa neden olmaktadır. Buradaki sistemde boru içi akış kararlıdır. Ancak difüzör deliklerinden boru içine dış akışların olması durumunda, difüzörün belli kısımlarında kararsız iç akış problemi ortaya çıkmaktadır. Kararlı iç akış ise laminar ve türbülanslı olabilir.

Ayrık hesaplamalarda; öncelikle boru hattının geometrik özellikleri; iç akış hidroliği, dış akış hidroliği ve hidrodinamiği; difüzör ana borusunun stabilite analizi ile gerilme, sehim, burkulma ve titreşim kontrolü ve tespit kitlesinin stabilitesi yapılmaktadır. Bu amaçla hazırlanmış spesifik programlarla bilgisayar-destekli hesaplamalar bu kapsamda ele alınmıştır.

2.2.1. Boru Hattının ve Deşarj Borusunun Karakteristikleri

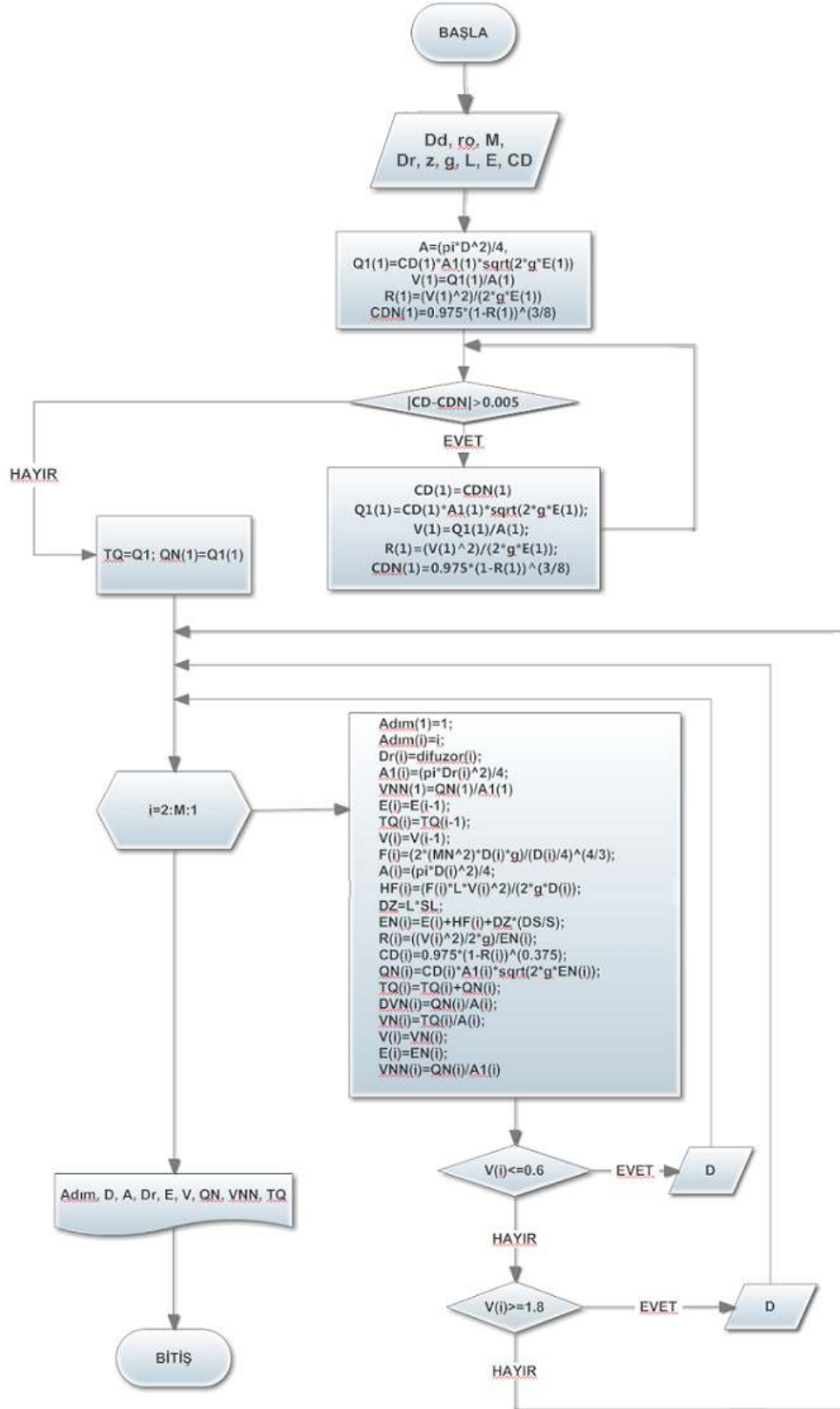
Boru hattı ve deşarj borusunun içinden geçen akışkana ait hız, debi ve basınç parametrelerin hesaplanması yazılan bilgisayar kodu ile yapılacaktır. Bu kısımda istenirse boru hattının tümü için hesaplama yapılabilir. Ancak sonlu elemanlar programı için bu durum geçerli değildir, sistemin sadece belirli bir kısmı çözümlenebilir. Bunun sebebi; sistemin boyutları büyüdükçe kullanılan eleman sayısının artması ve artan eleman sayısı ile çözümün zorlaşmasıdır. Bu nedenle sonlu elemanlar modelinde kullanılan boyutların aynısı yazılan bilgisayar kodunda kıyaslama yapabilmek amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 2.4. Difüzör kesitleri

Boru hattı çelik malzeme kullanılarak Şekil 2.4'de görüldüğü gibi, üç farklı geometride modellenecektir. Bunlar; sabit, kademeli daralan ve tedrici daralan kesitli geometrilerdir.

Difüzörün tasarımı; MATLAB programında yazılan DIFDES yazılımı ile yapılmıştır. Difüzör çapı, çıkış sayısı ve çapları gibi geometrik faktörler DIFDES kodlaması dahilinde yapılmıştır. Yazılıma ait akış şeması Şekil 2.5'de görülmektedir.



Şekil 2.5. DIFDES yazılımı akış şeması

2.2.2. Durgun Deniz Ortamında Difüzörün Hidrolik Modellemesi

Kararlı Akış Hali; Akıma ait parametrelerin zamandan bağımlılığı yoksa bu tip akımlar kararlı akımlar olarak sınıflandırılırlar ve matematiksel olarak;

$$\frac{\partial V}{\partial t} = 0, \quad V=V(x,y,z) \quad \text{ve} \quad \frac{\partial p}{\partial t} = 0, \quad p=p(x,y,z) \quad (2.1)$$

ile ifade edilirler. Bu çalışmada; boru içi akım parametreleri hesaplanırken kararlı akım hali göz önünde bulundurulmuştur. Kararsız akım haline karşılık gelen su darbesi olayı işletim mekanizmalarının uygun kullanımı nedeniyle göz ardı edilmiştir. Ancak kısmi olarak boru iç akışında dış akıştan kaynaklanan bir çalkantının olması su darbesine benzer aşırı iç basınçların ya da vakumların olması hesaplamalarda dikkate alınmalıdır.

Hız hesabı: Deşarj borusunda, katı madde çökelmelerinin önlenmesi için akış hızının 0,60 m/s'den az olmaması veya günde en az bir kere 0,75-0,80 m/s değerine çıkması gerekmektedir. Aşırı hidrolik yük kayıplarının engellenebilmesi için maksimum akış hızının 2,50 m/s'yi aşmaması tavsiye edilmektedir. Deşarj hatlarındaki optimum su hızı 0,80-1,80 m/s alınabilir. Difüzörün katı maddelerin çökmesi sonucu tıkanmasının önlenmesi için, en uçtaki delikten önce difüzördeki akış hızının 6 cm/s'den az olmaması gerekmektedir (Öztürk, 2011).

Delik Çap ve Aralık Sayılarının Hesaplanması: Difüzör deliklerinin çapları ve aralıkları farklı tayin edilebilir. Her bir tasarım için deniz ortamında seyrelme analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu işlem standartlaşmayı ve hidrolik-hidrokinamik analizleri güçleştirmektedir. Dolayısıyla sabit aralıklı ve kesitli borulardan boşaltımın yapılması hem hesap hem standart açısından uygun görülmektedir. Bu durumda; difüzör deliklerinin toplam alanı,

$$\sum_{i=1}^n a_i \leq \left(\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3} \right) \left(\frac{\pi D_d^2}{4} \right) \quad (2.2)$$

olacaktır. Burada D_d , deşarj borusunun çapı (m), a_i , i. deliğin enkesit alanıdır (m^2). Delikler arasında mesafe, L (m) için de yüzey tarla durumunda, $L=Y/3$ ve batmış tarla durumunda $L=Y_{\max}/3$ kriterleri esas alınabilir. Şayet delikler şaşırtmalı ise, bu değerlerin yarısı alınmalıdır (Öztürk, 2011).

Deşarj İletim Hattındaki Toplam Enerji Kaybının Hesabı: Difüzörden suyun iletilmesi için gerekli toplam enerji kaybı (h_t); difüzör ana borusundaki sürtünme kaybı (h_s), çıkış borularında oluşan sürtünme kaybı h_{dif} , yoğunluk farkından ileri gelen yük kaybı h_{ro} , toplam yersel yük kaybı h_y ve, denizdeki seviye farklarından (gel-git) ortaya çıkan yük kaybı h_{gg} toplamı olarak ifade edilebilir.

$$h_t = h_s + h_{dif} + h_y + h_{gg} \quad (2.3)$$

Bu çalışma kapsamında; yoğunluk farkından ileri gelen yük kaybı ile gelgit yük kaybı dikkate alınmamaktadır. Gerektiğinde hesaplamalara ilave edilerek daha hassas bir çalışma yapılabilir.

Sürekli yük kaybının hesaplanmasında ise Manning, Kutter, Darcy-Weisbach, Prandtl-Colebrok, William-Hazen tarafından geliştirilen formüllerden Darcy-Weisbach formülüne göre difüzör ana borusunda oluşan sürekli yük kaybı (h_s);

$$h_s = \lambda \frac{V_d^2}{2g} \frac{L_d}{D_d} \quad (2.4)$$

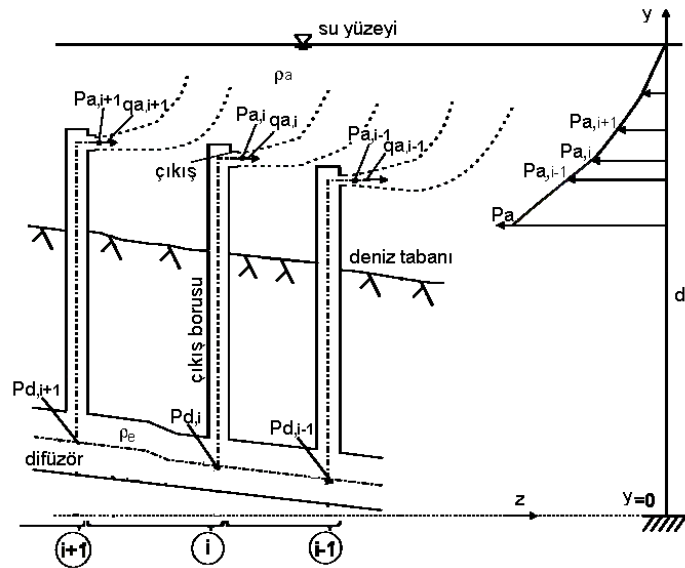
ile hesaplanmıştır. Farklı malzemeler için değişen pürüzlülük kat sayısı (λ) Moody diyagramı ile hesaplanır.

Yersel yük kaybı ise difüzör üzerindeki ani kesit daralmalarında, difüzör ana borusundan çıkış borusu giriş ağzlarında, çıkış borusu üzerindeki dirseklerde ve nihai boşaltım ağzında meydana gelir. Her bir yersel yük kaybı;

$$h_y = \xi \frac{V^2}{2g} \quad (2.5)$$

ile ifade edilebilir. Burada; ξ yersel yük kaybı katsayısı, V dikkate alınan ana boru ya da çıkış borusundaki akış hızıdır.

Çıkış Hızının Hesaplanması: Difüzörün, öngörülen seyrelmeleri sağlayabilmesi için debi değişimlerine rağmen, deliklerden çıkan debilerin olabildiğince eşit tutulması ve düşük debilerde deliklerden difüzör içerisine deniz suyu girişinin önlenmesi için $Fr > 1$ olması tavsiye edilmektedir (Bleninger ve diğerleri, 2005 ve Öztürk, 2011).



Şekil 2.6. Çıkışlar arası hidrolik analiz

Çıkış hızlarının hesaplanmasında enerji ve süreklilik denklemleri esas alınarak her bir çıkış (i) noktasındaki debi eksilmesine göre hidrolik analiz yapılmaktadır. (Şekil 2.6)

$$\frac{P_{d,i}}{\gamma} + \frac{V_{d,i}^2}{2g} + y_i = \frac{P_{d,i-1}}{\gamma} + \frac{V_{d,i-1}^2}{2g} + y_{i-1} \quad (2.6)$$

Difüzör ucundan başına doğru yapılacak işlem sırasına göre bu bağıntı; difüzör ana borusunda çıkış ile aynı doğrultuda bulunan i ve i-1 kesitleri arasında ardışık olarak uygulanacaktır.

Difüzör ana borusu üzerinde çıkışlar arası enerji denklemlerinde difüzör ana borusu d, çıkış borusu (riser) r ve çıkış (port) p alt indislerle ifade edilmektedir. Bu durumda enerji bağıntısı;

$$p_{d,i} = p_{d,i-1} + \rho_e g(y_{d,i-1} - y_{d,i}) + \frac{\rho_e}{2A_{d,i-1}^2} \left(\sum_{k=1}^i q_k \right)^2 - \frac{\rho_e}{2A_{d,1}^2} \left(\sum_{k=1}^i q_k \right)^2 + h_{t-dd} \quad (2.7)$$

biçiminde ifade edilir. Difüzör ana borusundaki basınç değeri (p_i); bir önceki noktadaki basınç (p_{i-1}), statik ve basınç farkları ve toplam enerji kayıplarına bağlı olarak yazılmıştır. Difüzör ana borusundaki toplam enerji kaybı (h_{t-dd}) ise;

$$h_{t-dd} = \frac{\rho_e}{2} \left(\sum_{k=1}^i q_k \right)^2 \left[\sum_{j=1}^{n_{d-1}} \frac{1}{A_{d,i-1,j}^2} \left(\xi_{d,i-1,j} + \lambda_{d,i-1,j} \frac{L_{d,j-1,j}}{D_{d,i-1,j}} \right) \right] \quad (2.8)$$

olarak hesaplanır.

Difüzör ana borusu ile çıkış arasındaki akım çizgisi üzerinde bulunan iki nokta için elde edilen enerji denkleminde göre;

$$p_{d,i} = p_{a,1} + \rho_e g(y_{jet,i} - y_{d,i}) + \frac{\rho_e}{2(C_{c,i} A_{p,i})^2} (\alpha_i q_i)^2 - \frac{\rho_e}{2A_{d,1}^2} \left(\sum_{k=1}^i q_k \right)^2 + h_{t-dp} \quad (2.9)$$

İfadesi yazılabilir. Difüzör ana borusu üzerindeki i.kesitteki basınç değeri (p_i); jetin çıkış noktasındaki dış ortam basıncı (p_a), jet çıkışı ile ana boru arasındaki statik basınç farkı, iki nokta arasındaki dinamik basınç farkı ve kayıpların toplamına eşittir. $C_{c,i}$, ördek ağızlı çıkışlardaki (duckbill valves) daralma katsayısıdır.

$$C_{c,i} = \frac{\alpha_i q_i}{V_i A_{p,i}} \quad (2.10)$$

Denklemden V_i , jet çıkış hızı (m/s), A_p , çıkış kesit alanını, α_i ($\alpha_i=1$ /koldaki çıkış sayısı) ise koldaki çıkış sayısına bağlı kat sayıyı ifade eder. Difüzörün ana borusu ile jet çıkış noktası arasında meydana gelen enerji kaybı ise,

$$h_{t-dp} = \frac{\rho_e q_i^2}{2} \left[\sum_{j=1}^{n_{p,i}} \left(\frac{\alpha_i}{A_{p,i,j}} \right) \left(\xi_{p,i,j} + \frac{\lambda_{p,i,j} L_{p,i,j}}{D_{d,i,j}} \right) + \sum_{j=1}^{n_{r,i}} \left(\frac{1}{A_{r,i,j}} \right) \left(\xi_{r,i,j} + \frac{\lambda_{r,i,j} L_{r,i,j}}{D_{r,i,j}} \right) \right] \quad (2.11)$$

ile hesaplanır.

Koşul: Bir noktada tek basınç söz konusu olacağından Denklem 2.7 ve 2.9 aynı basınç değerine ulaşılması gerekmektedir. İki denklemin birlikte çözülmesiyle her bir kesitteki çıkış debisi;

$$q_i = \frac{\frac{2}{\rho_e} (p_{d,i-1} - p_{a,i}) + 2g(y_{d,i-1} - y_{jet,i}) + \left(\sum_{k=1}^{i-1} q_k \right)^2 \left[\frac{1}{A_{d,i-1}^2} + \sum_{j=1}^{n_{d,i-1}} \frac{1}{A_{d,i-1,j}^2} \left(\xi_{d,i-1,j} + \lambda_{d,i-1,j} \frac{L_{d,i-1,j}}{D_{d,i-1,j}} \right) \right]}{\frac{\alpha_i^2}{C_{c,i} A_{p,i}} + \sum_{j=1}^{n_{p,i}} \left(\frac{\alpha_i}{A_{p,i,j}} \right) \left(\xi_{p,i,j} + \frac{\lambda_{p,i,j} L_{p,i,j}}{D_{d,i,j}} \right) + \sum_{j=1}^{n_{r,i}} \left(\frac{1}{A_{r,i,j}} \right) \left(\xi_{r,i,j} + \frac{\lambda_{r,i,j} L_{r,i,j}}{D_{r,i,j}} \right)} \quad (2.12)$$

biçiminde yazılır. Çıkış kayıp katsayısı farklı geometrili çıkışlar içinde değişmektedir. Keskin kenarlı çıkışlarda,

$$C_{c,i} = 0.63 - \frac{0.58}{2g} \left(\left(\sum_{k=1}^{i-1} q_k \right)^2 \left[\frac{1}{A_{d,i-1}^2} \right] \left(\frac{2}{\rho_e} (p_{d,i-1} - p_{a,i}) + \left(\sum_{k=1}^{i-1} q_k \right)^2 \left[\frac{1}{A_{d,i-1}^2} \right] \right)^{-1} \right) \quad (2.13)$$

ile, çan ağızlı çıkışlarda ise,

$$C_{c,i} = 0.975 \left(1 - \frac{1}{2g} \left(\left(\sum_{k=1}^{i-1} q_k \right)^2 \left[\frac{1}{A_{d,i-1}^2} \right] \left(\frac{2}{\rho_e} (p_{d,i-1} - p_{a,i}) + \left(\sum_{k=1}^{i-1} q_k \right)^2 \left[\frac{1}{A_{d,i-1}^2} \right] \right)^{-1} \right) \right)^{3/8} \quad (2.14)$$

esas alınacaktır (Fischer ve diğerleri, 1979).

Literatür çalışmalarında, dış ortamda kararsız akış olsa bile hesaplamalarda kararsız akıştan kaynaklanan dış ortam basıncı; statik basınca eşit alınmıştır. Bu çalışmada ise; Denklem 2.12'de kullanılan dış ortam basıncı, hidrodinamik hesaplamalarla elde edilen kararsız ortamın dış basınç hali olan dinamik basınçtır. Kararlı iç akış, dış ortama iletilirken *çıkış borusu ve difüzör ana borusunda* kararsız dış akışla etkileşime girerek difüzör ve çıkış borusu içerisindeki akış düzeni bozulmakta ve iç akım kararsız akışa dönüşmektedir. Bu durum çıkış

hızlarını küçük boyutta da olsa farklılaştırmaktadır. Bu çalışma neticesinde bu farkın boyutları tespit edilmiş, akımın zamanla değişimi incelenmiştir.

Kararsız Akış Hali (Su Darbesi): Kararsız akım halinde akıma ait parametreler zamana bağımlıdır. Boru içi akımlarda kararsız akım durumuna su darbesi olayı ile karşılaşılabilir. Su darbesi olayı boru iç basıncında meydana gelen dalgalanmaların oluşumu, ilerlemesi ve yansıması nedeniyle ortaya çıkar. Bu dalgalanmalar su hacminin ani yer değiştirmesi ile oluşurlar. Terfili deşarj hatlarında pompaların aniden devreye girmesi, boru patlaması, vanaların aniden açılıp kapanması veya bilhassa elektrik kesintileri sonucu devreden çıkmaları durumunda su darbesi sebebiyle ani, düzensiz aşırı dinamik basınçlar ortaya çıkar. Bu nedenle, boru hattında hasarlar oluşabilir ve mekanik birleşim yerleri zarar görebilir (Bush, 1999 ve Tijsseling, 2007).

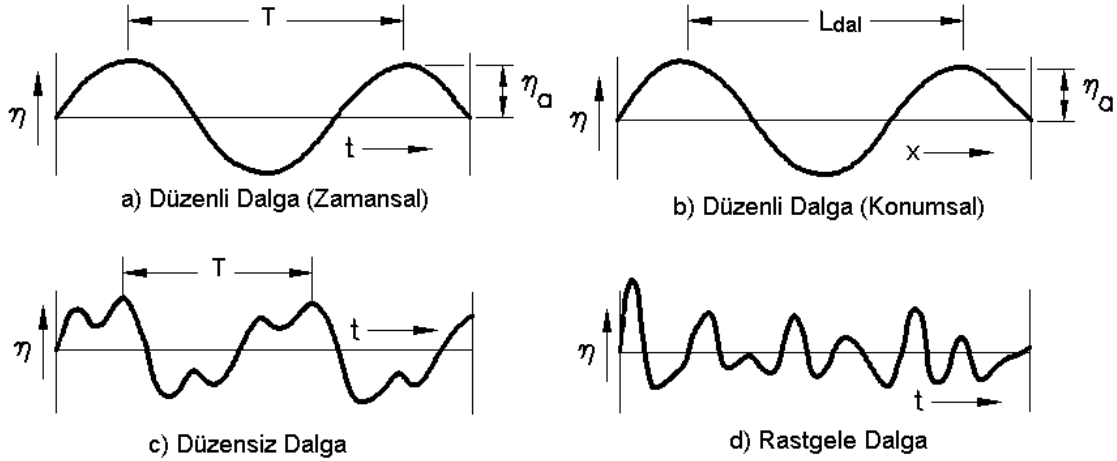
Akışkan iletilen boru hatlarında akış nedeniyle oluşan titreşimler ve işletim mekanizmalarının kullanılamaması nedeniyle zararlar meydana gelebilir. Deşarj sistemleri gibi kompleks yapılarda akış kaynaklı titreşim problemlerine sıkça rastlanır. En genel haliyle bu probleme uygulanabilecek bir teoride bulunmamaktadır. Bunun nedeni boru hattı tasarımı sektöründe bu konu hakkında rehberlik edebilecek kişilerin eksikliğidir. Aynı şekilde bu konuda yapılmış çalışmaların azlığı bu eksikliğin giderilememesine yol açmaktadır (Lin, 1996 ve Qing ve diğerleri, 2006).

Bu konudaki çalışmalarda yürütülen klasik yöntem boru içi akımın tek yönlü olduğu ve boru bağlantı contalarının etkisi göz ardı edilerek deformasyonların anlık olduğu kabulüne dayanır. Timoshenko'nun kabuk teorisini kullanan tek yönlü akıma maruz boru hattının dinamik analizi için nümerik kod yazılarak analiz yoluna gidilmiştir. Timoshenko'nun modelinin yanı sıra Euler-Bernoulli kiriş teorisi kullanılarak yapılan akım yönünde ve akım yönüne dik gerçekleşen titreşimlerin boru hattına etkisini inceleyen çalışmaların varlığı bilinmektedir (Achouyab ve Bahrar, 2011).

Sonuç olarak, difüzör iç akışında su darbesi dikkate alınabilir, ancak dış-ıç akış etkileşiminden kaynaklanan kararsız akışın büyüklüğünün ihmal edilebilir düzeyde ve difüzör bünyesinde sonlanıyor gözükmesi nedeniyle bu çalışmada ihmal edilmiştir. Boru hattında meydana gelebilecek su darbesi kökenli aşırı iç basınç, difüzörde sönümlenmiş olduğundan dikkate alınmamıştır. Ancak dış ortamdaki dalgalanmadan dolayı difüzör çıkışlarında ve difüzör ana borusunda akış düzensizliklerinin oluştuğu ve iç basınçtaki değişimlerin hasar yapacak boyutta olup olmadıkları bu çalışma kapsamında ortaya konulmuştur.

2.2.3. Dalgalı Deniz Ortamında Difüzörün Hidrodinamik Modellemesi

Dalgalar; oluşum bakımından çoğunlukla rüzgar veya deprem kökenlidirler. Rüzgar kökenli dalgalarının yüksekliklerinin ve periyotlarının belirlenmesinde rüzgârın esme süresi, hızı ve feç uzunluğu etkilidir. Su yüzü profiline göre düzenli dalgalar; sinüzoidal formda (Küçük Genlikli Dalga Teorisine uygun), düzensiz dalgalar da; karmaşık yüzey profilli (Çoklu Sinüzoidal bağıntılara dayalı) formda ifade edilirler.



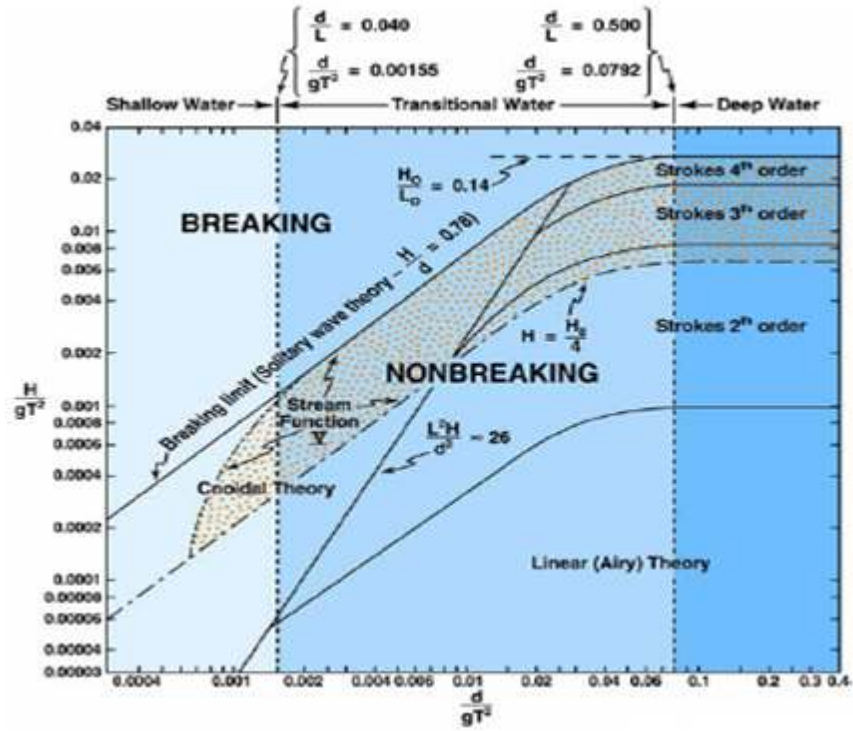
Şekil 2.7. Deniz dalgalarının sınıflandırılması

Şekil 2.7’de, iki dalga tepesi ya da çukuru arasındaki yatay uzaklık dalga boyunu (L_{dal}), zaman farkı ise dalga periyodunu (T) ve (η) su yüzü profilini temsil eder.

Düzensiz dalgalarda, belirli bir dalga periyoduna sahip su yüzey profilinin zamanla rastgele değişimi ardışık periyotlarda da formunu koruyabilir ve periyodik rastgele özellik taşırlar. Düzensiz dalgaların formu periyodik olarak da tekrarlanmıyorsa bu tip düzensiz dalgalar; rastgele dalgalar olarak tanımlanırlar (Coastal Engineering Manual, 2006). Düzensiz dalga parametrelerinin hesaplanmasında izlenecek en kolay ve geçerli yol düzensiz dalganın belirli sayıda düzenli dalganın süperpozisyonu ile elde edilmesi yoludur.

Düzensiz dalgaların formları; spektral ve alçalırken/yükselirken sıfırı kesme yöntemleri ile belirlenebilir. Spektral yöntemde su yüzünün zamanla değişiminden dalga enerjisinin frekansla değişimi elde edilir. Dalga enerjisi-frekans eğrisi kullanılarak dalga parametrelerinin belirlenmesi mümkündür. Spektrum-frekans eğrisinde; frekansın her bir pik değeri bir dalganın frekansını temsil eder ve dolayısıyla çoklu sinüzoidal dalgaların her birinin birey dalga periyodu ve yüksekliği hesaplanabilir.

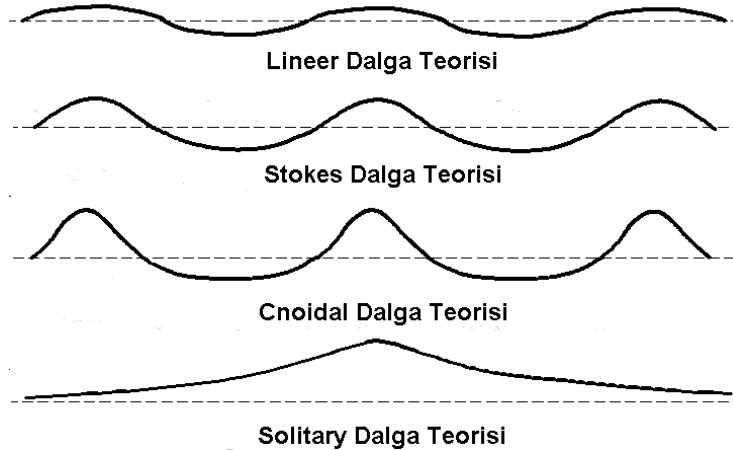
Düzenli dalgalar; Lineer, Stokes I-II-III-IV, Akım Fonksiyonlu, Cnoidal ve Solitary dalgalar olarak sınıflandırılmıştır. Lineer Dalga Teorisi sıklıkla kullanılır ve lineer terimlerden müteşekkildir. Haricindekiler ise non-lineer terimler içerdiklerinden Non-Lineer Dalga Teorileri olarak izah edilirler (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Dalgalar teorileri

Bir deniz ortamındaki geçerli dalgaların belirlenmesinde; Şekil 2.8 kullanılarak sinüzoidal dalganın minimum ve maksimum genliklerinin toplamı olan dalganın yüksekliği (H), dalganın su yüzü profilinin deniz tabanına dik uzaklığı (d) ve dalganın periyodu (T) parametrelerine dayalı bir işlem yapılır.

Lineer Dalgaların Teorisi, ideal akışkan kavramları kullanılarak açıklanır, iki boyutlu haldedir ve lineer terimler içerir. Bu teoride, dalganın uzun mesafeler boyunca enerji kaybına uğramayacağı, yüzeysel gerilme ve viskozite etkisinin önemli olmadığı, potansiyel akım kabulünün geçerli olduğu, yüzey basıncının üniform ve sabit olduğu kabulleri esas alınmıştır. (Coastal Engineering Manual, 2006). Gerek su yüzeyinde, gerekse derinlik değiştiğinde ortaya çıkacak dalgaların parametreleri (genlik, partikül ve dalgaların hızları, partikül yörüngeleri ve basınçlar) Lineer Dalgaların Teorisi ile hesaplanabilir. Şekil 2.9'da Lineer, Stokes Cnoidal ve Solitary Dalgaların Teorilerine ait su yüzü profilleri görülmektedir.



Şekil 2.9. Dalgaların teorilerine ait su yüzü profilleri

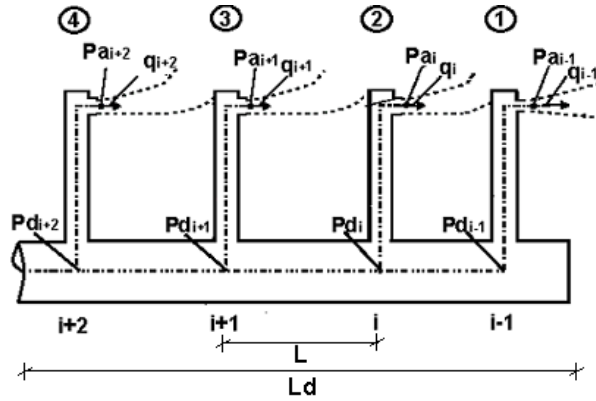
Bu çalışmada; difüzörden çıkan atık su dış ortam basıncı ile karşılaşacağından, Lineer Dalga Teorisine dayalı partikül yatay-düşey hızlarının ($\dot{u}_z$, $\dot{u}_y$) ve dış ortam basıncının P_a (Denklem 2.17) hesaplanmasıyla iç-dış akış etkileşiminin (Denklem 2.12) varlığı dikkate alınmıştır.

$$\dot{u}_z = \frac{H}{2} \times \frac{gT}{L_{dal}} \times \frac{\cosh[2\pi(y+d)/L_{dal}]}{\cosh(2\pi d/L_{dal})} \times \cos\left(\frac{2\pi}{L_{dal}}z - \frac{2\pi}{T}t\right) \quad (2.15)$$

$$\dot{u}_y = \frac{H}{2} \times \frac{g \times T}{L_{dal}} \frac{\sinh(2\pi \times (y+d)/L_{dal})}{\cosh(2\pi \times d/L_{dal})} \times \sin\left(\frac{2\pi}{L_{dal}}z - \frac{2\pi}{T}t\right) \quad (2.16)$$

$$P_a = \rho_a g \frac{H}{2} \frac{\cosh\left(\frac{2\pi(y+d)}{L_{dal}}\right)}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L_{dal}}\right)} \cos\left(\frac{2\pi}{L_{dal}}z - \frac{2\pi}{T}t\right) \quad (2.17)$$

Dalga'nın bulunduğu derinlikteki deniz ortamının sıg, geçiş ve derin su olarak ifade edilmesi ile dalga parametreleri ve basınçlarda değişiklikler ortaya çıkar. Lineer Dalga Teorisi ile bu değerlerin hesaplanması mümkündür. Ancak bilinmelidir ki; her teorenin geçerli olduğu bölgede kullanılması, daha doğru ve gerçekçi sonuçların hesaplanmasına yol açacaktır.



Şekil 2.10. Hesaplamalarda kullanılacak düğüm noktaları

Şekil 2.10'da görülen difüzör kesitinde hesaplama başlanılacak nokta i. noktadır. Bu nokta ve çıkış bağlantısı arasında basınç değerinin aynı doğrultudaki dış ortam basıncına kayıpların eklenmesi ile elde edilir.

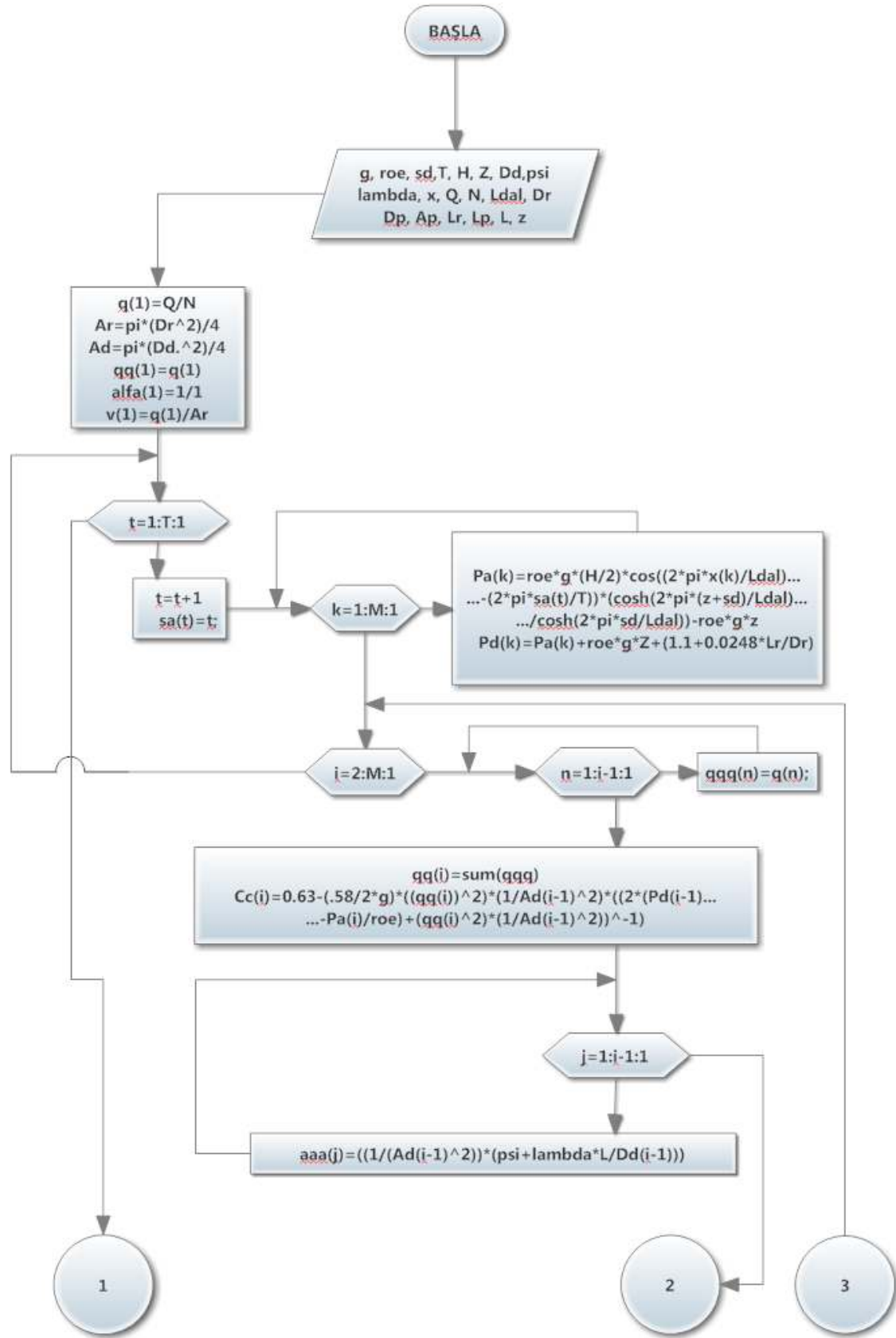
Yapılan literatür araştırmalarında dalgalı dış akış ortamının çıkış hızına etkisi araştırılmamıştır. Dış ortam durgun su kabulü ile statik basınç hesaplaması yapılmıştır. Bu çalışmada zamanla değişen dış ortam basıncı göz önünde bulundurularak çıkış hızı ifadesi Denklem 2.18 ile elde edilir.

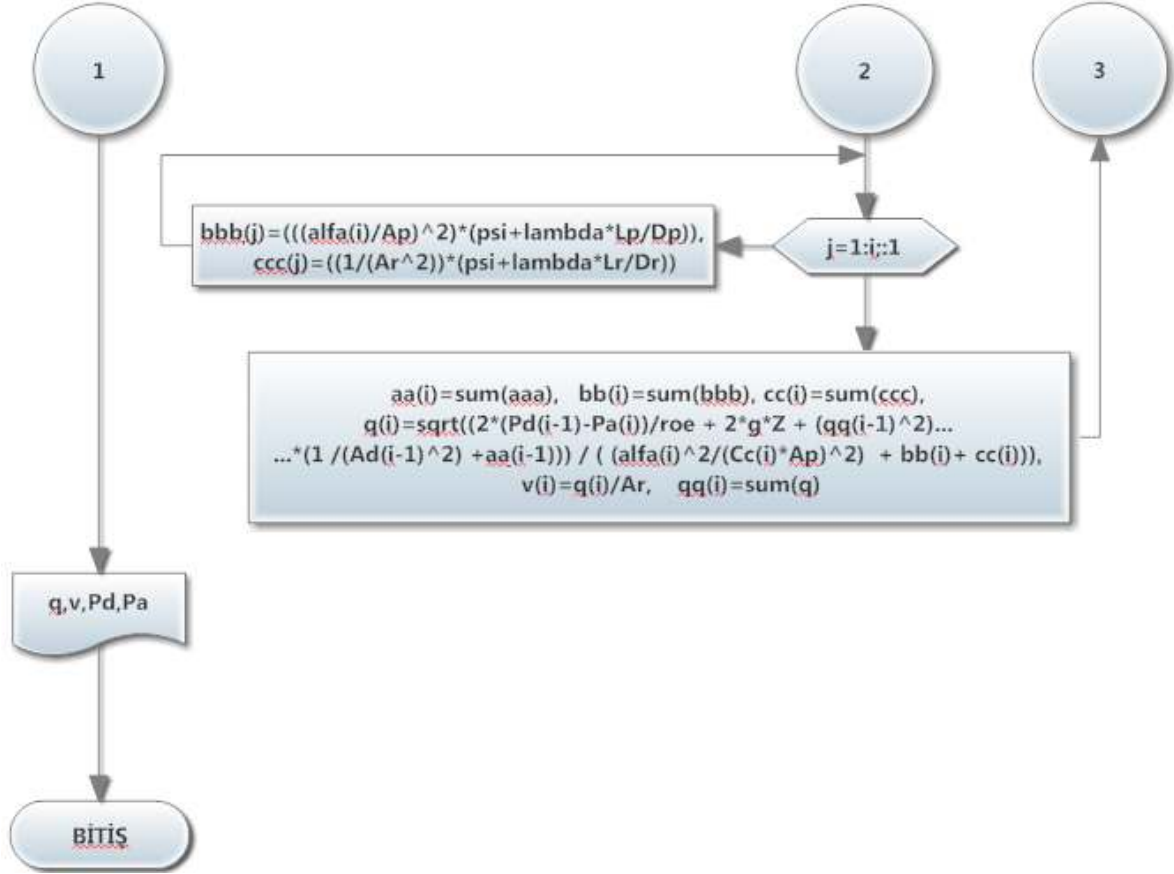
$$q_i = \frac{\frac{2}{\rho_e} \left(p_{d,i-1} - \rho_a g \frac{H}{2} \frac{\cosh\left(\frac{2\pi(y+d)}{L_{dal}}\right)}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L_{dal}}\right)} \cos\left(\frac{2\pi}{L_{dal}} z - \frac{2\pi}{T} t\right) \right)}{\frac{\alpha_i^2}{C_{c,i} A_{p,i}} + \sum_{j=1}^{n_{p,i}} \left(\frac{\alpha_i}{A_{p,i,j}} \right) \left(\xi_{p,i,j} + \frac{\lambda_{p,i,j} L_{p,i,j}}{D_{d,i,j}} \right) + \sum_{j=1}^{n_{r,i}} \left(\frac{1}{A_{r,i,j}} \right) \left(\xi_{r,i,j} + \frac{\lambda_{r,i,j} L_{r,i,j}}{D_{r,i,j}} \right)} +$$

$$\frac{2g(y_{d,i-1} - y_{jet,i}) + \left(\sum_{k=1}^{i-1} q_k \right)^2 \left[\frac{1}{A_{d,i-1}^2} + \sum_{j=1}^{n_{d,i-1}} \frac{1}{A_{d,i-1,j}^2} \left(\xi_{d,i-1,j} + \lambda_{d,i-1,j} \frac{L_{d,i-1,j}}{D_{d,i-1,j}} \right) \right]}{\frac{\alpha_i^2}{C_{c,i} A_{p,i}} + \sum_{j=1}^{n_{p,i}} \left(\frac{\alpha_i}{A_{p,i,j}} \right) \left(\xi_{p,i,j} + \frac{\lambda_{p,i,j} L_{p,i,j}}{D_{d,i,j}} \right) + \sum_{j=1}^{n_{r,i}} \left(\frac{1}{A_{r,i,j}} \right) \left(\xi_{r,i,j} + \frac{\lambda_{r,i,j} L_{r,i,j}}{D_{r,i,j}} \right)} \quad (2.18)$$

Denklemden yazılan basınç ifadesi i. noktadaki basınç değeridir.

HYDRODIF yazılımı ile difüzör üzerindeki iç ve dış akış kökenli hidrolik ve hidrodinamik kökenli parametreler hesaplanmıştır.





Şekil 2.11. HYDRODIF yazılımı akış şeması

MATLAB programıyla yazılan HYDRODIF kodu ile zamanla değişen dış akışın hidrodinamik parametreleri ile bu akıştan kaynaklanan kararlılığı kısmen bozulan iç akışın hidrolik parametrelerinin tayini yapılmıştır.

Dış Akış Ortamında Seyrelme: Belirli bir derinlikten deşarj edilen atık su, deşarj deliğinden çıkarken sahip olduğu momentum enerjisi ve atık su ile deniz suyu arasındaki yoğunluk farkından dolayı deniz suyu içerisinde yükselmeye başlar. Bu yükselme sırasında deniz suyu ile karışan atık su; seyreilmeye (birincil seyreilmeye ya da yakın alan seyreilmesine) başlar. Yoğunluk tabakalaşması bulunmayan (üniform) ortamda; yatay dairesel jet deşarjı, durgun ve üniform yoğunluklu ortamda; yatay dairesel jet deşarjı, deşarj ortamında akıntı hızının düşük olduğu durumlarda; Lineer olmayan, yoğunluk profiline sahip deniz ortamında; difüzör delikleri birbirine çok yakın olduğu durumda ve Lineer Yoğunluk Tabakalaşması Kabulü İle Hesap yöntemleridir. Deşarj hesaplamalarında; denizde yoğunluk tabakalaşmasının bulunmaması (üniform), akıntı hızının düşük olması, lineer olmayan yoğunluklu su profilinin olması, difüzör delikleri birbirine çok yakın olması ve lineer yoğunluklu tabakalaşması olması durumları dikkate alınmaktadır.

Birinci seyreilmeden sonra başlangıç enerjisi tükenen atık su, akıntı etkisiyle hareket etmeye başlar. Bu hareket sırasında türbülans ve difüzyon etkisiyle atık su, deniz suyuna karışmaya devam eder. Bu işlem, ikinci seyreilme (uzak alan seyreilmesi) olarak tarif edilir.

Denize deşarj edilen atık su içerisindeki korunamayan türden maddelerin, atık su tarlasının yatay hareketi esnasında güneş ışınlarının radyasyon tesiri, tuzluluk ve çökelen maddelere tutunma gibi etkiler sonucu seyrelirler. Bu seyrelmeye ise üçüncü seyrelme (bakteriyel seyrelme) denir.

2.2.4. Difüzör ve Tespit Kitlelerinin (Mesnetlerin) Stabilite ve Gerilme Analizi

Difüzör Ana Borusunun Stabilitesi: iç ve dış akış kökenli kuvvetler ile boru, mesnet ve akışkan ağırlıklarından kaynaklanan difüzör üzerindeki yatay ve düşey toplam kuvvetler, her iki yönde de dengelenmelidir. Deniz tabanındaki borunun birim boyuna eksene dik yönde etkiyen yatay kuvvetler sürüklenme (F_D), atalet (F_M) ve kaldırma kuvvetleri (F_L), dalgaların hızlarına ve ivmelerine bağlı olarak aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir.

$$F_D = (1/2) C_D \rho D \dot{u}_z |\dot{u}_z| \quad (2.19)$$

$$F_M = C_M \rho \frac{\pi D^2}{4} \ddot{u}_z \quad (2.20)$$

$$F_L = (1/2) C_L \rho D \dot{u}_z^2 \quad (2.21)$$

Boru mesnetler üzerinde askıda tasarlandığından tespit kitlesi-deniz tabanı arası sürtünme kuvvetiler ile hidrodinamik yatay kuvvetler dengelenecektir. Tespit kitlesinin temas ettiği zeminin yanal zemin direnci (F_S);

$$F_S = (F_V \tan(3\phi/2) + (1/2)\gamma_s h^2 \tan^2(45 + \phi/2) \quad (2.22)$$

ile hesaplanır. Yanal zemin direnci hesaplandıktan sonra hidrodinamik yatay yükün mesnetlerde oluşturduğu maksimum yatay kuvvetler hesaplanarak bu kuvvetin tespit kitlesinin oturduğu zeminin yanal zemin direncinden küçük olması istenir.

$$R_{my} < F_S cB \quad (2.23)$$

Bu çalışmada, boru hattına dalga kuvvetleri tarafından uygulanan kaldırma kuvveti ihmal edilmiştir. Boru hattının düşey stabilitesi için; boru hattının ağırlığından dolayı deniz suyunun oluşturduğu kaldırma kuvveti (F_k), boru hattı üzerine giydirilen betonun ağırlığından oluşan batırma kuvveti (F_b), çelik boru hattının kendi ağırlığından oluşan batırma kuvveti (F_d) ve boru hattının içinde taşınan akışkanın ağırlığından oluşan batırma kuvveti (F_e) hesaplanmıştır.

Boru hattı içindeki atık su boru hattını batırmaya çalışarak bu yönde kuvvet uygular. Bu kuvvet, boru hattının iç alanına eşit olan suyun kesit alanına (A_e), ve suyun özgül ağırlığına (γ_e) bağlı olarak hesaplanır.

$$F_e = \gamma_e A_e \quad (2.24)$$

Boru hattına deniz suyu kaldırma kuvveti uygular. Bu kuvvet; boru hattının en kesit alanına (A_{BH}) ve deniz suyunun özgül ağırlığına (γ_a) bağlı olarak hesaplanır.

$$F_K = \gamma_a A_{BH} \quad (2.25)$$

Boru hattının yapım malzemesinin (çelik) ağırlığından oluşan batırma kuvveti; difüzör en kesit alanına ve özgül ağırlığına (γ_ϕ) bağlı olarak hesaplanır.

$$F_d = \gamma_\phi A_d \quad (2.26)$$

Deniz boru hatları gerek koruma amaçlı gerekse yapay ağırlıkla hattın yüzmesinin önlenmesi amaçlı olarak beton kaplama ile kuşatılır. Beton ağırlığı, boru hattına yer çekimi yönünde kuvvet uygular (F_B). Bu çalışmada, borunun yüzmesini engelleyen yerçekimi doğrultusunda toplam net düşey kuvvet egemen olduğundan dolayı yapay ağırlaştırmaya ve ilave düşey yüke gerek duyulmamıştır. Yapay ağırlık kuvveti; betonun enkesit alanına (A_B), betonun özgül ağırlığına (γ_{beton}) bağlı olarak;

$$F_b = \gamma_b A_b \quad (2.27)$$

formunda hesaplanır. Tespit kitlesi ağırlığı ve borudan (kirişten) gelen düşey mesnet reaksiyonu, zemin tarafından taşınacak düşey kuvvetleri oluşturur, Tespit kitlesi ağırlığı farklı boyutlarda tasarlanabilir. Bu kuvvet (F_t); tespit kitlesinin en kesit alanına ve yapım malzemesi olan betonun birim hacim ağırlığına bağlı olarak,

$$F_t = \gamma_b A_t \quad (2.28)$$

İfade edilir. Boru, mesnetler üzerinde askıda tasarlandığından tespit kitlesi-deniz tabanı arası yük transferi, zemin taşıma gücü ve toplam düşey mesnet reaksiyonu ile dengelenecektir. Bu çalışmada kohezyonsuz zemin için hesaplamalar yapılacaktır, bu tip zemin için taşıma gücü,

$$F_c = (e^{\pi \tan \phi} \tan \phi \gamma_s h + (e^{\pi \tan \phi} \tan \phi + 1) \tan \phi \gamma_s B) B \quad (2.29)$$

ile hesaplanarak düşey mesnet reaksiyonuna bağlı düşey yönde denge koşulu Denklem 2.30 ile sağlanır.

$$R_{md} < F_c c B \quad (2.30)$$

Burada; B, c ve h tespit kitlesi tabanının sırasıyla eni, boyu ve yüksekliğidir.

Difüzördeki Gerilmelerin ve Sehimin Kontrolü: Deniz deşarj hatlarında kullanılan borular nakliye, döşeme, montaj ve normal işletme devrelerinde; hidrolik iç basınç, dış su basıncı, dalga ve akıntı yükleri, borunun ekstenel eğilmesinden kaynaklanan etkiler, toprak dolgusu yükleri, sıcaklık değişmelerinden kaynaklanan gerilmeler gibi iç ve dış etkiler altında kalırlar. Boru iç-dış akış koşullarından kaynaklanan basınçlar nedeniyle boru hattında belirli bir bölgeden başlayan yerel burkulma giderek boru boyunca büyük bir kısma yayılarak devam eder ve boru hattında hasara neden olur.

Hidrolik İç Basınç: İçerisinden belirli bir (P_d) iç basıncı ile iletilen su bulunan borunun et kalınlığı (s_d) normal gerilme (σ) değerine göre Denklem 2.31 ile tahkik edilir.

$$s_d \geq \frac{P_d D_d}{2\sigma + P_d} \quad (2.31)$$

Burkulma Kontrolü: Dış su basıncı, su altındaki içi boş (iki ucu kapalı) boru hatlarında kritik değerlere ulaşabilir. Bu durum boru hattı işleme açılmadan gerçekleşebilir. Borunun burkulmasına neden olan çembersel basınç kuvveti P_b , borunun dışında dalga etkisiyle zamanla değişen dış basınçtan büyük olmalıdır.

$$P_b = \frac{2E_\zeta}{1-\nu^2} \left(\frac{s_d}{D_m} \right)^3 \quad (2.32)$$

İfadesi elde edilir. Burada; E_ζ : Boru malzemesinin elastisite modülünü, ν : borunun poisson oranını(büzülme katsayısı) göstermektedir.

Basit Kiriş Sehim Kontrolü: Boru hattına etkiyen toplam yatay ve düşey kuvvetler, tespit kitlelerinin (mesnetler) arası açıklığın bir kiriş olarak alınmasıyla statik ve dinamik olarak analiz edilmektedir. Basit kiriş olarak ele alınması durumunda,

$$f_s = \frac{5}{384} \frac{w(L_d/2)^4}{E_\zeta J_z} \leq \frac{L_d/2}{500} \quad (2.33)$$

Denklem 2.33 ile sehim hesabı yapılır. Boru hattının önem derecesine göre sehim, açıklığın 200-300 veya 500 de birinden küçük olmalıdır.

Titreşim Kontrolü: Bu aşamada modeller üzerindeki dış kuvvetin titreşim frekansı ile modellerin doğal frekansları karşılaştırılacak ve rezonans durumu incelenecektir. Dış kuvvetin titreşim frekansı ile yapının doğal frekansının çakışması durumunda rezonans durumunun ortaya çıktığı bilinmektedir. Yapının doğal frekansı,

$$\omega_d = \frac{\psi}{2\pi} \sqrt{\frac{gE_\zeta l}{m_d L_d}} \quad (2.34)$$

ile hesaplanır (Wachel ve diğerleri, 1990). Denklemden ψ , ankastre mesnet için 22,4 olan frekans katsayısını, m ise birim boy ağırlığıdır.

Denklemin 2.34 ile sabit, kademeli ve tedrici değişken kesitli modellerin doğal frekansları ise sırasıyla ($\omega_{ds}=6,24 \text{ s}^{-1}$, $\omega_{dk}= 7,45 \text{ s}^{-1}$ ve $\omega_{dt}=8,94 \text{ s}^{-1}$) olarak bulunmuştur. Dalganın titreşim frekansı ise (ω) $0,83 \text{ s}^{-1}$ olarak bulunur. Hiçbir modelin doğal frekansı ile kuvvetin titreşim frekansı çakışmadığından modeller için rezonans durumu söz konusu değildir.

2.3. Difüzörün Bütünleşik Analizi-ABAQUS

Hem akışkan ortamında hem de akışkanı çevreleyen katı cisim içindeki parametrelerin zamanla ve konumla değişen özelliklerinin tanımlanması amacıyla bilgisayar-destekli nümerik modelleme gereği duyulmaktadır. Akışkan-Boru Etkileşim Problemlerinin çözümünde akışkanın boru üzerinde birtakım etkilere sahip olmasına karşın borunun da akışkan üzerinde etkileri söz konusu olmaktadır. Akışkan-yapı etkileşiminin bir arada çözümlenmesi gerekmektedir. Akışkan problemi bir ortamda, boru problemi ise bir başka ortamda çözümlenebilir. Ancak yapısal sistemin davranışı ile akışkan hareketi bir arada değerlendirilmemiş olacaktır. Akışkan iç basınç değişiklikleri karşısında borunun rijitliği birbirlerini etkileyemeyecektir.

Bu çalışma kapsamında; ilk aşamada, akışkan ve borunun ayrı ayrı ortamlarda farklı bilgisayar destekli modelleri ele alınmış, ikinci aşamada da akışkan-boru etkileşim probleminin nümerik modelleme ile çözümlenmiştir. Her iki aşamada elde edilen sonuçlar bu çalışmada değerlendirilmiştir.

Bu amaca yönelik olarak da Sonlu Elemanlar Metoduna dayalı, yüksek performanslı, tanımlanan modellere yönelik gerçekçi akışkan-yapı çözümlemesi yapabilen, güvenilir ve hassas sonuçlar üretebilen, özellikle etkileşim problemlerinde aktif kullanılabilen ABAQUS programından yararlanılmıştır. Farklı malzeme seçenekleri içeren programla doğrusal olmayan analiz ve artımsal dinamik analiz yapılabilir.

Programda ABAQUS/CAE ara yüzü ile çalışan **ABAQUS/Standard**, **ABAQUS/Explicit**, ve **ABAQUS/CFD** olmak üzere üç ana çekirdek yazılımı vardır:

ABAQUS/CAE; kullanıcı ve bilgisayar ihtiyaçlarına yönelik olarak geliştirilmiş, doğrudan ve dolaylı yollardan dışarıdan geometri okutmaya ve sadeleştirilme yapmaya olanak sağlayan bir ara yüzdür. Bununla birlikte, tüm modelleme, çözümü takip etme, çözümü yönetme ve sonuçları inceleme özelliklerine sahip tüm ön ve son işlemlerini de yapabilmektedir. ABAQUS/CAE’de, çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi veya çözümün sonlandırılması kolaylığı vardır. ABAQUS’te yapılacak her tanımlama, belli bir birim altında toplanmıştır. Her

birim kendi içinde mantıksal alt tanımlama komutları içerir. Kullanıcı, bir birimin işlevini tam olarak kavradığında diğer birimlerin de işlevlerini nasıl yürüttüğünü kolaylıkla kavramaktadır.

ABAQUS/Standard genel amaçlı sonlu elemanlar modülüdür. Statik, dinamik, ısı transferi, akustik ve bunların bağlaşımlı (çift-etkili) çözümlemeleri için geliştirilmiş, geniş ve gelişmiş eleman, malzeme ve temas modelleme kabiliyetine sahip güçlü ve güvenilir bir kapalı (Implicit) sonlu elemanlar çözücüsüdür.

ABAQUS/Explicit, zamana bağlı dinamik problemlerin modellenmesi ve çözülmesi için geliştirilmiş açık (Explicit) Sonlu Elemanlar Metoduna dayalı bir çözücüdür. Düşürme testi benzetimleri, çarpışma (kaza) ve ürün benzetimleri gibi yüksek derecede doğrusalsızlığın bulunduğu devinim problemlerinin çözümü için uygundur. Gelişmiş malzeme modelleri ve eleman kütüphanesi bulunmaktadır. Beton, toprak, kil, kaya, sünger, lastik, köpük, dökme demir, karma (kompozit) malzeme modelleri mevcuttur. Ayrıca, tam ve yarı otomatik temas modelleme kabiliyetine sahiptir.

ABAQUS/CFD; ileri seviyede hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözücüsüdür. ABAQUS/CAE ile entegre çalışmakta olup ön/son özellikleri ABAQUS/CAE tarafından desteklenmektedir. ABAQUS/CFD ile doğrusal olmayan ısı-akış ve yapısal-akış problemleri gibi birçok uygulamanın etkin ve gerçekçi bir şekilde modellenmesi mümkündür.

Programda yer alan kısımlar; Part, Property, Assembly, Step, Interaction, Load, Mesh, Verify, Job, Visualization ve Report olarak sıralanabilir.

Part kısmında, geometrik parçaların oluşturulması işlemi yapılır. Üç, iki yada axisymmetric boyutlu elemanlar oluşturulabilir. Axisymmetric geometri daha çok noktasal boyutta, örneğin kum taneciğinin modellenmesinde kullanılır. Oluşturulan geometrik parçalar, deformasyona uğrayabilen, discrete rijit, analitik rijit ya da Eulerian geometri tipleri arasından seçilir. Eulerian geometri daha çok etkileşimli modellerde kullanılarak, örneğin bardaktaki suyun modellenmesi, iki çözücünün birlikte kullanılmasına gerek kalmadan modelin çözümünün daha kısa sürede tamamlanmasını sağlamaktadır. Katı, kabuk, çizgisel yada noktasal eleman part kısmında oluşturulabilir. Bu kısımda modele ait iki boyutlu çizim her hangi bir çizim programındaki gibi yapılır. Daha sonra elde edilen geometriye üçüncü boyut uzatma, döndürme ve eğip-döndürme işlemleri yapılarak kazandırılır.

Property bölümünde, malzeme özellikleri tanımlanır. Tanımlanan malzeme özellikleri kesit oluşturularak bu kesite atanır. Malzeme atanan kesitle geometri eşleştirilerek kullanılacak malzeme geometriye atanır. Aynı geometri üzerinde farklı malzemeler tanımlanarak kompozit malzemeli modellerde oluşturulabilir. Bunun için part bölümünde geometri parçalanmalı ya da assembly bölümünde birden çok geometri birleştirilmelidir.

Assembly kısmında, parçaların birbirlerine göre konumlandırılarak montajın oluşturulması işlemi gerçekleştirilir. Part kısmında oluşturulması zor olan geometriler bu bölümde birleştirilerek zor geometrik modeller oluşturulabilir. Birleştirilen elemanların istenirse birleşim bölgeleri belli olacak şekilde geometri

oluşturularak tek geometriye birden çok malzeme ataması yapılabilir. Böylelikle interaction kısmında tanımlanacak temas yüzeyleri azaltılarak analiz süresi kısaltılabilir.

Analiz tipi, adımları, çıktıları, analizde kullanılacak çözücü ve çözüm tipi *Step bölümünde* tanımlanır. Bir modelde birden fazla analiz adımı tanımlanabilir ancak; birbirini takip eden adımlar uyumlu olmak zorundadır. Statik analiz tipinden sonra aynı model içinde ısı transferi analizi tanımlanamaz. Bu bölümde tanımlanacak analiz tipi kullanılan çözücüyle uyumlu olmak zorundadır. Örneğin; ABAQUS/Standard çözücüsüyle Explicit analiz tipi tanımlanamamaktadır. Analizin süresi ve zaman adımları bu kısımda belirlenir. Zaman adımı içerisinde yeteri kadar iterasyon yapılamayıp çözüm elde edilemezse analiz program tarafından sonlandırılmakta ve program hata vermektedir. Çözüm sonucunda hangi çıktılarına gereksinim varsa bu bölümde istenen çıktılar belirlenir. Analizde kullanılacak çözücü ve çözüm tipi sonuçları etkilemektedir. Analiz çözücü ve çözüm tipi modellenen sisteme göre değişmektedir. Kullanılan eleman sayısı ve tipi ile uyumlu çözücü ve tipi değişmektedir.

Modeldeki parçalar arası temasın modellenmesi *Interaction kısmında* yapılır. Temas yüzeyleri master-slave olarak belirlenir. Bu yüzeyler arasındaki sürtünme, sönüm gibi özellikler temas özellikleri kısmında tanımlanır. Modeldeki tüm geometriler temas halindeyse yüzey seçmeye gerek kalmadan tüm model seçilerek genel etkileşim tanımlanır. Akışkan ile boru arasındaki temas bu kısımda tanımlanmaktadır. İki farklı model (akışkan-difüzör) tek CAE ara yüzünde birleştirilir. Bunun için modellerden birinin başka bir CAE ara yüzünde oluşturulup içeri alınması gerekir. İki modelli ara yüz oluşturulduktan sonra temas oluşması için Assembly kısmında her ikisinin de aynı koordinatlarda olması gerekir, aksi durumda program çalıştırıldıktan sonra hata vermektedir. Modellerde bir biriyle temas eden yüzeyler tanımlanarak Interaction kısmının Interaction Manager araç çubuğundaki Fluid-Structure Co-simulation boundary alt kısmında tanımlanan analiz tipiyle eşleştirilir. Böylelikle başka bir sınır şartına gerek kalmadan akışkanın boru ile temas ettiği bölgelerdeki davranışı belirlenir.

Load bölümünde, yükleme miktarı-tipi, başlangıç ve sınır şartları tanımlanır. Mekanik, ısı akustik, akışkan, elektrik ve kütle aktarımı yükleme tipleridir. Step bölümünde tanımlanan analiz adımlarında bu yüklemeler yapılır. Modele farklı zamanlarda farklı yüklemeler yapılacaksa farklı analiz adımları tanımlanarak her bir adımda yapılacak yükleme modele atanır. Modelin başlangıç sınır şartları bu bölümde gerçekleştirilmektedir.

Mesh bölümünde, geometri üzerine istenen sayıda ve aralıkta nokta (node) atanır. Geometrinin yapısı nedeniyle bazı bölgelerde noktaları fazlaştırmak ya da azaltmak gerekebilir. Bu işlem seed edges araç çubuğunda yapılır. Noktalar birleşerek gridleri meydana getirir ve bu gridlere eleman tipi ataması yapılarak modeli oluşturan elemanlar elde edilir. Kübik, prizmatik ve kama (wedge) kullanılan eleman şekilleridir. Eleman şekli seçildikten sonra bu şekillere ve analiz tipine uygun birden çok eleman tipi program tarafından belirlenir, kullanıcı bu eleman tiplerinden probleme uygun olanı seçer. Modelde kullanılan nokta ve eleman sayısı sonuçları değiştirmektedir. Bir problem farklı nokta sayıları için çözülmelidir. Değişen nokta sayıları için yakınsama kontrolü yapılarak uygun nokta sayısı belirlenmelidir. Mesh kısmından Job kısmına geçmeden önce meshlerin kontrol edilmesi, problemin çözüm aşamasında meshle ilgili bir sorunla karşılaşılması için

gereklidir. *Verify* mesh araç çubuğunda meshler kontrol edilerek hatalı noktalar ve hata oranları gözlemlenebilir.

Çözüm yönetimi ve izleme işlemleri *Job bölümünde* gerçekleşir. Bu bölümünde, görüntüleme kısmı sayesinde adım adım çözüm takip edilerek programın verdiği uyarılar ve hatalar takip edilir. Programın hata verdiği ve çözülmesi diğer hatalara göre daha zor olan hatalar, mesh ve step hatalarıdır. Mesh hatalarından sakınmak için programın uygun gördüğü nokta aralıklarından daha büyük adımlar seçilmemelidir. Step hatalarında ise adım aralıkları büyük tutulmamalıdır.

Sonuçların incelenmesi ise *Visualization kısmında* gerçekleştirilir. İstenen çıktılarına ait değerler grafikler ya da renk skalaları kullanılarak oluşturulan görseller yardımıyla incelenir. *Report* araç çubuğu kullanılarak çıktılar sayısal olarak istenilen formatta kaydedilebilir.

2.3.1. Boru Hattının ve Deşarj Borusunun Karakteristikleri

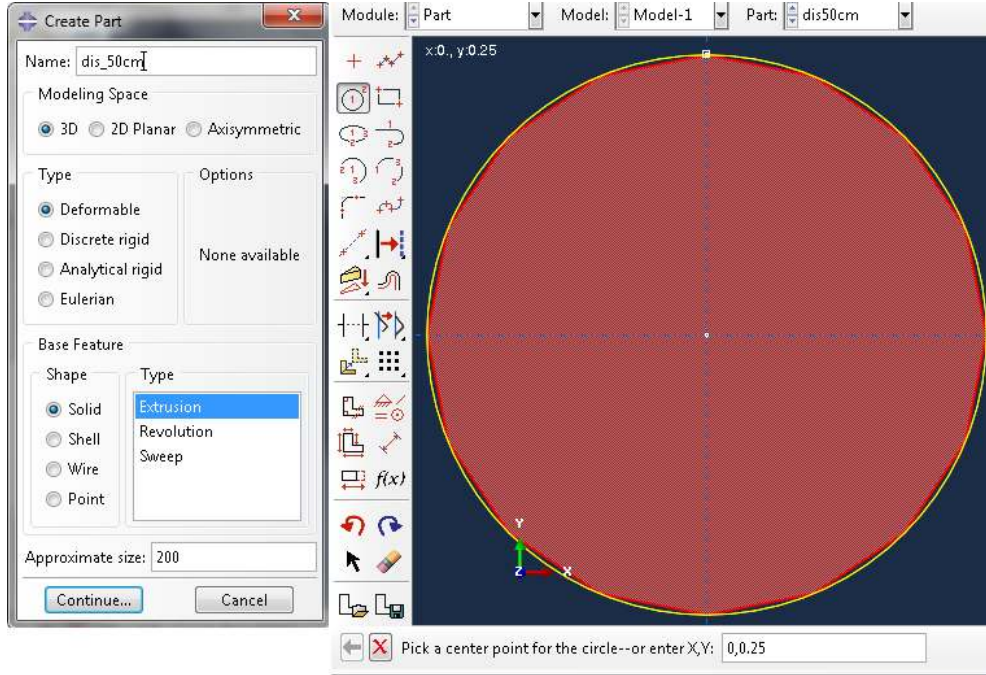
Bu çalışma kapsamında uygulamada kullanılan bir deşarj sistemini oluşturan difüzör, dik çıkış bağlantıları ve çıkışları modellenmiştir. Sistemin son iki açıklığı (20 m) ve bu açıklık üzerinde bulunan dört adet çıkış inceleyecektir. Difüzör çıkış borularının ve çıkış ağzlarının çap ve geometrisi aynı kalmak koşulu ile difüzör borusu üç farklı şekilde modellenmiştir. Bunlar: sabit, kademeli ve tedrici daralan kesitli modellerdir. Analiz kısmında modeli çözülebilir hale getirmek için tüm sistem modellenmemiştir. Bilinmektedir ki model büyüdükçe kullanılan eleman sayısı da artmaktadır. Artan eleman sayısını karşılayabilecek hacimdeki bilgisayar temini zordur. Bu nedenle, son iki açıklığın modellenmesi yoluna gidilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, iç-dış akış etkisindeki difüzör modelleneyecektir. Dış akışı modellemek için 20 m yüksekliğinde 25 m boyunda 1,50 m genişliğinde bir dikdörtgen prizma geometrisi oluşturulacaktır. 20 m difüzörün bulunduğu suyun derinliği, 25 m, difüzör boyundan (20 m) 5 m metre uzun geometrinin boyu, 1,50 m ise boru çapının (0,50 m) üç katı olacak şekilde belirlenmiştir.

Bu bölümde; sadece kademeli difüzörün modellenme aşamalarına değinilecektir. Diğer modellerin oluşturulma adımları sadece Part bölümünde küçük farklılıklar gösterdiğinden bir modelin açıklanmasıyla yetinilmiştir. Öncelikle difüzör içi dolu olacak şekilde 0,50 m çapında ve daralan kesiti 0,40 m çapında modelleneyecektir. Aynı geometri 0,48 m ve 0,38 m çapları için tekrar düzenlenecektir. 0,48 m ve 0,38 m çapındaki geometriler iç akış geometrisini oluşturacaktır. Assembly bölümünde büyük çaplı geometri diğeri tarafından kesilerek difüzör modeli oluşturulacaktır. Sonraki adımda, Assembly bölümünde birleşim yerleri kaybolmayacak şekilde, dikdörtgen prizma büyük çaplı geometri tarafından kesilerek dış akışa ait geometri oluşturulur. Bu geometri ile iç akış geometrisi birleşim yerleri kaybolmayacak şekilde birleştirilerek akışkan modeli oluşturulur. Bu geometri Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) çözücüsü ile modellenmiştir. Difüzör modeli ise ABAQUS/Explicit çözücüsüyle modellenmiştir.

Bir önceki kısımda, Sonlu Elemanlar Metoduna dayalı bir programda model oluştururken izlenecek adımlara değinilmişti. Bu adımların çalışmada nasıl uygulandığı, hem yazılı hem de görsel olarak açıklanmıştır.

İlk adım geometrilerin oluşturulmasıdır. Bunun için Şekil 2.12'de görüldüğü gibi Part bölümünde ana borunun çizilmesi ile işleme başlanır. Ana borunun yarıçapında bir daire çizilir.



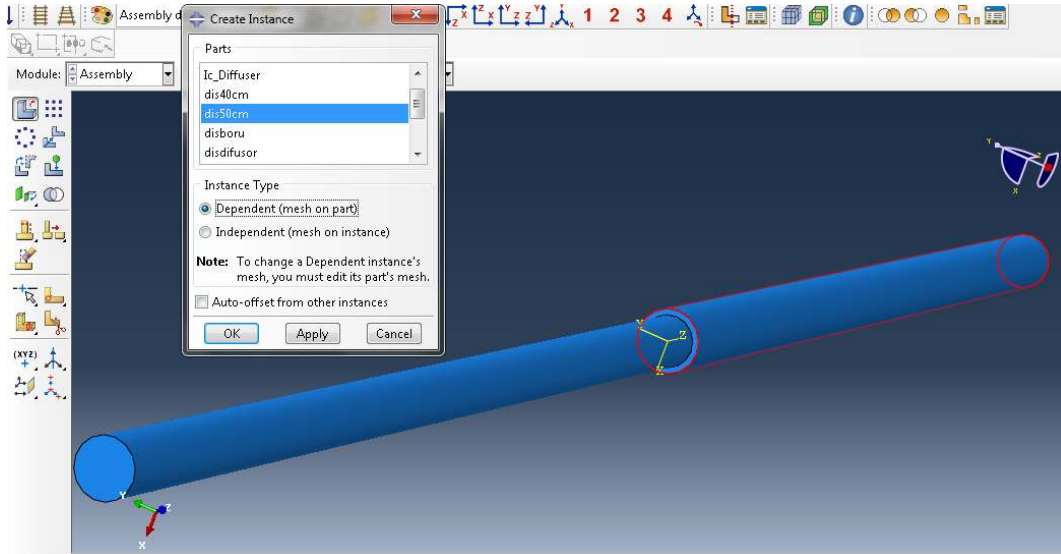
Şekil 2.12. Ana borunun kesitinin oluşturulması

Ana borunun kesiti oluşturulduktan sonra bu kesite derinlik verilerek borunun çizimi tamamlanır. Bunun için Şekil 2.13'de görüldüğü gibi, uzatma kısmına boru boyu $L=10$ m olarak yazılır. Aynı işlem 0,48 m'lik boru içinde yapılarak aynı zamanda iç akımda modellenmiş olur. Boru çizimi için diğer yol olarak, döndürme (revolution), tarama (sweep) komutları kullanılabilir.



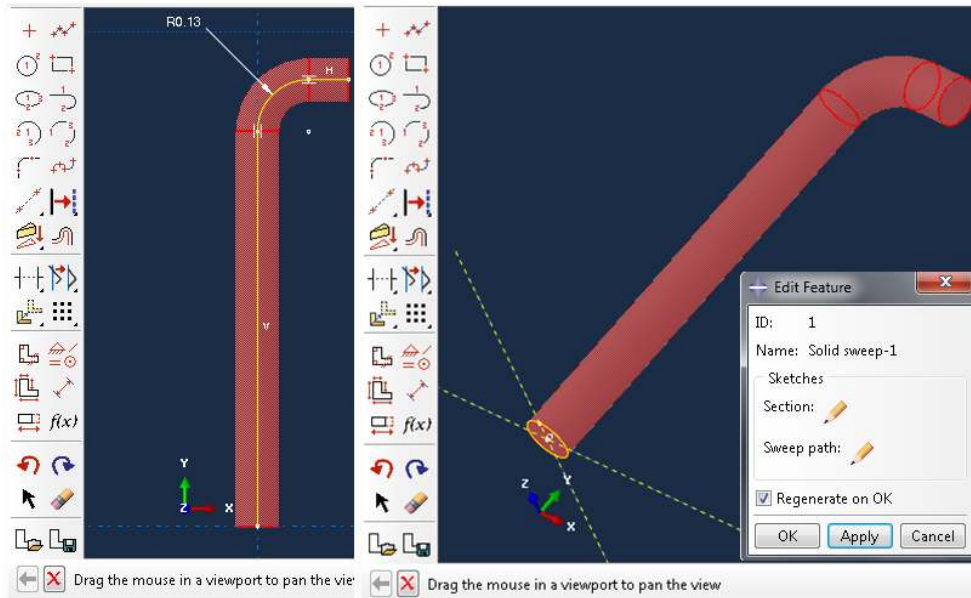
Şekil 2.13. Borunun oluşturulması

Aynı işlem adımları ikinci kademe için yapılarak elde edilen iki geometri Assembly bölümünde aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi birleştirilir.



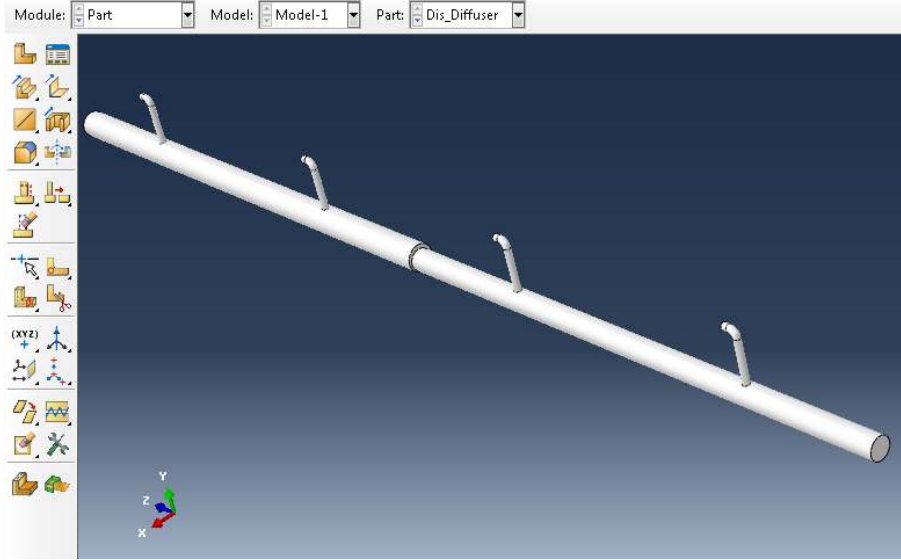
Şekil 2.14. İki borunun birleştirilmesi

Difüzörün çıkış kolu (riser) boyu $L_r=1,00$ m'dir, çapı ise $D_r=0,13$ m'dir. Çıkışların modeli çan ağızlı-dairesel olarak belirlenmiştir. Öncelikle geometri iki boyutta oluşturulur. İki boyutlu geometriye üçüncü boyut Şekil 2.15'de görülen tarama (sweep) komutu ile verilir. Çıkışlar için aynı işlem 0,11 m çapında iç akımın geometrisi için uygulanır.



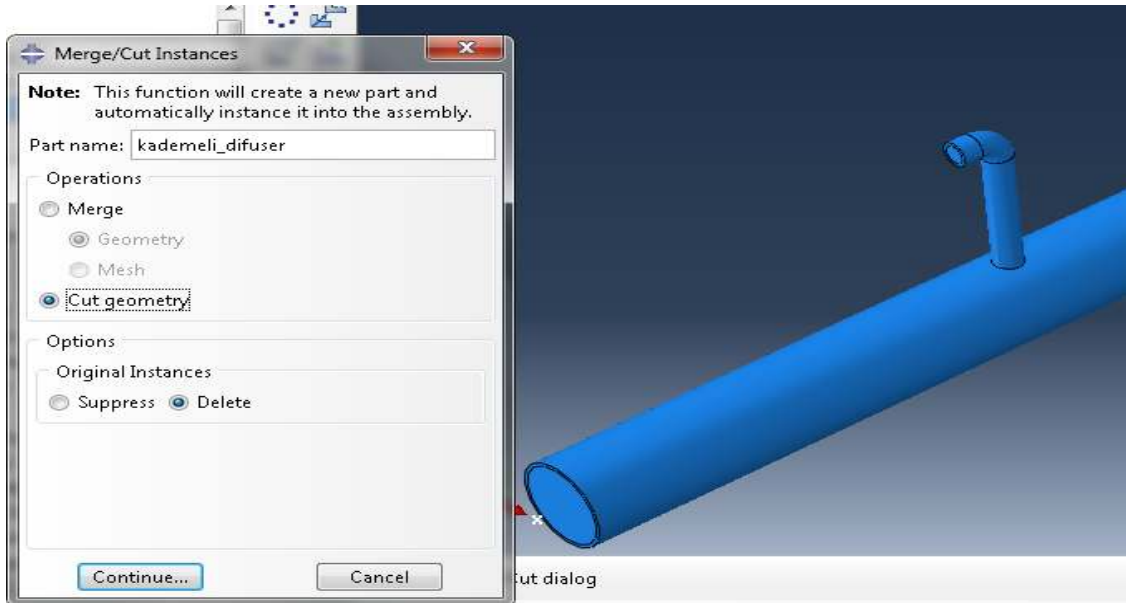
Şekil 2.15. Çıkışların oluşturulması

Dört adet deşarj çıkışı ve iki adet deşarj borusu Assembly bölümünde birleştirilerek kademeli değişen deşarj sistemi Şekil 2.16'da görüldüğü gibi elde edilir. Bu işlem 0,48 m ve 0,38 m'lik iç akım geometrisi içinde yapılır.



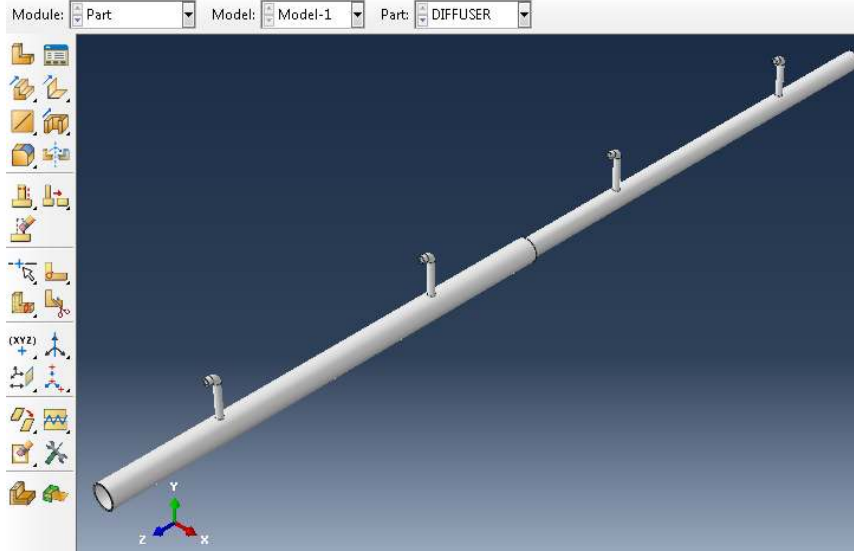
Şekil 2.16. Kademeli difüzör geometrisi

İki kademeli (0,50-0,40 m çaplı) dört çıkışlı geometri Assembly bölümünde iki kademeli (0,48-0,38 m çaplı) geometri ile kesilir (Şekil 2.17).



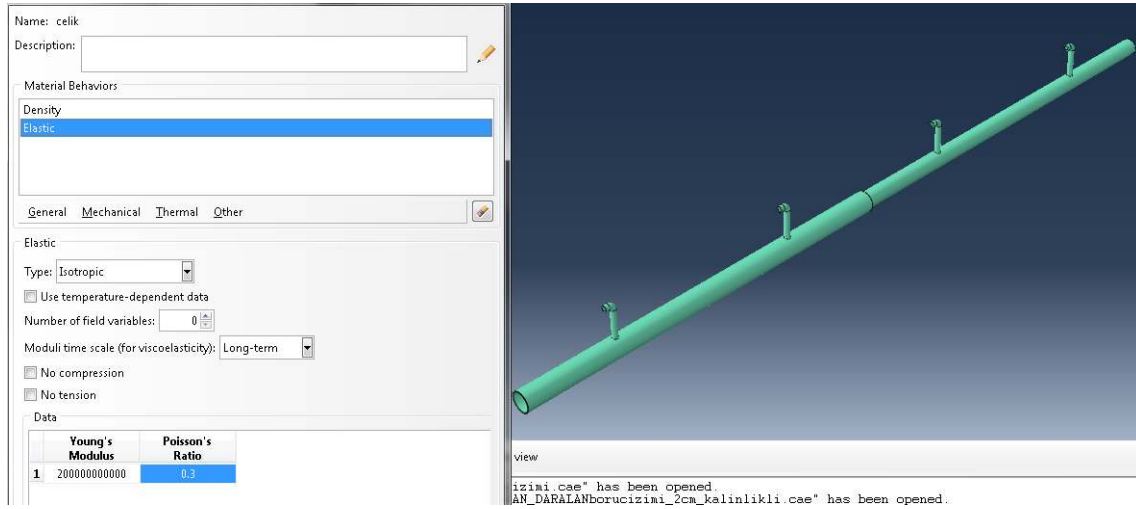
Şekil 2.17. Assembly bölümünde geometrilerin kesilmesi

Kesim işleminden sonra 20 m uzunluğunda, 0,50 m ve 0,40 m çaplarında iki kademeli, 1,00 m boyunda dört çıkış borulu, 0,13 m çaplı çan ağız çıkışlı difüzör geometrisi elde edilir (Şekil 2.18).



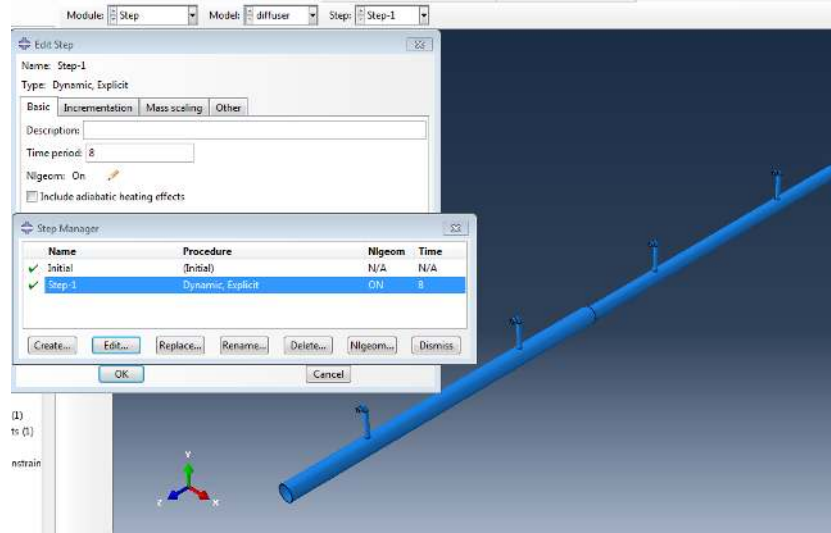
Şekil 2.18. Difüzör geometrisi

Elde edilen geometriye Property bölümünde malzeme ataması yapılacaktır. Difüzör çelik malzemeden imal edilmiştir. Elastisite modülü $E_{\text{ç}}=2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$, poisson oranı $\nu=0,3$ ve yoğunluğu $\rho_{\text{ç}}=7850 \text{ kg/m}^3$ 'tür (Şekil 2.19). Malzeme özellikleri programa kaydedildikten sonra bu malzemeye ait kesit oluşturulur ve geometriye kesit ataması yapılarak malzeme özellikleri geometriye atanmış olur.



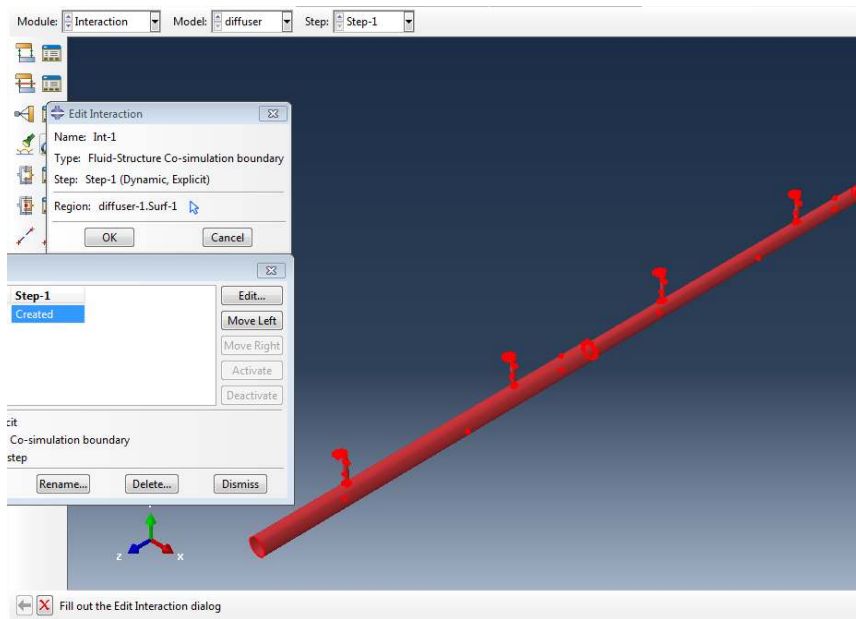
Şekil 2.19. Geometriye malzeme atanması

Analiz tipi, adımları, çıktıları, analizde kullanılacak çözücü ve çözüm tipi Step bölümünde, aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Akışkan hareketinin devam ettiği süre $T=8 \text{ s}$ için boru çözümü yapılacaktır. Analiz tipi olarak dinamik-explicit tanımlanmıştır, adım aralığı ise $0,005$ 'tir.



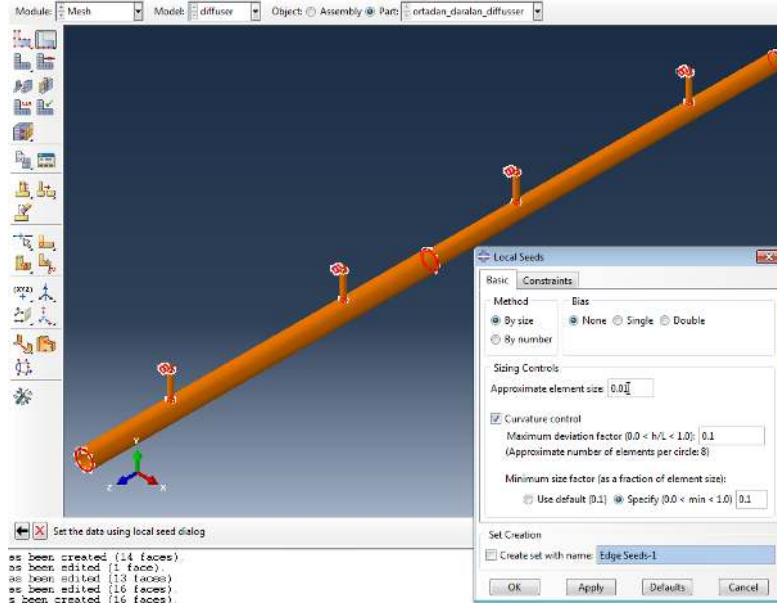
Şekil 2.20. Analiz şartlarının belirlenmesi

Akışkan-difüzör etkileşiminin modellenmesi Interaction kısmında gerçekleştirilmektedir. Bunun için difüzörün iç akışla temas ettiği iç yüzeyi ve dalga-akıntı ile temas ettiği dış yüzeyi seçilir.



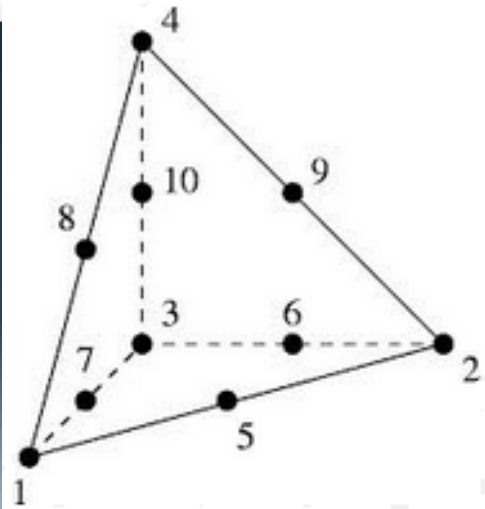
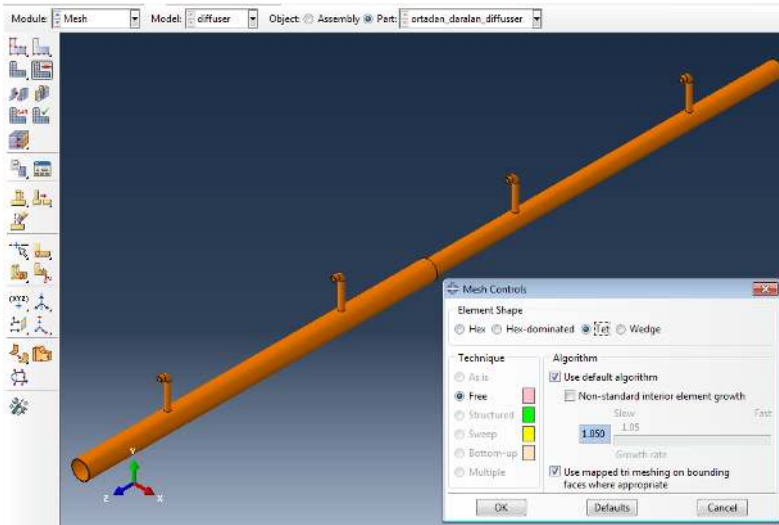
Şekil 2.21. Temas yüzeylerinin belirlenmesi

Difüzör ile akışkanın teması tanımlandıktan sonra difüzörün yükleme durumunun belirlenmesi gerekmektedir. Load bölümünde, yükleme miktarı-tipi, başlangıç ve sınır şartları tanımlanır. Akışkan-difüzör teması tanımlandığı için ayrıca modelde dış yük tanımlaması yapılmamıştır. Program akışkan çözümünden elde ettiği yükleri yapılan tanımlama sayesinde yüzeylere aktarır. Ancak Load bölümünde difüzörün mesnetlenme şartının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için öncelikle modelin parçalara ayrılması (meshlenmesi) gerekir.



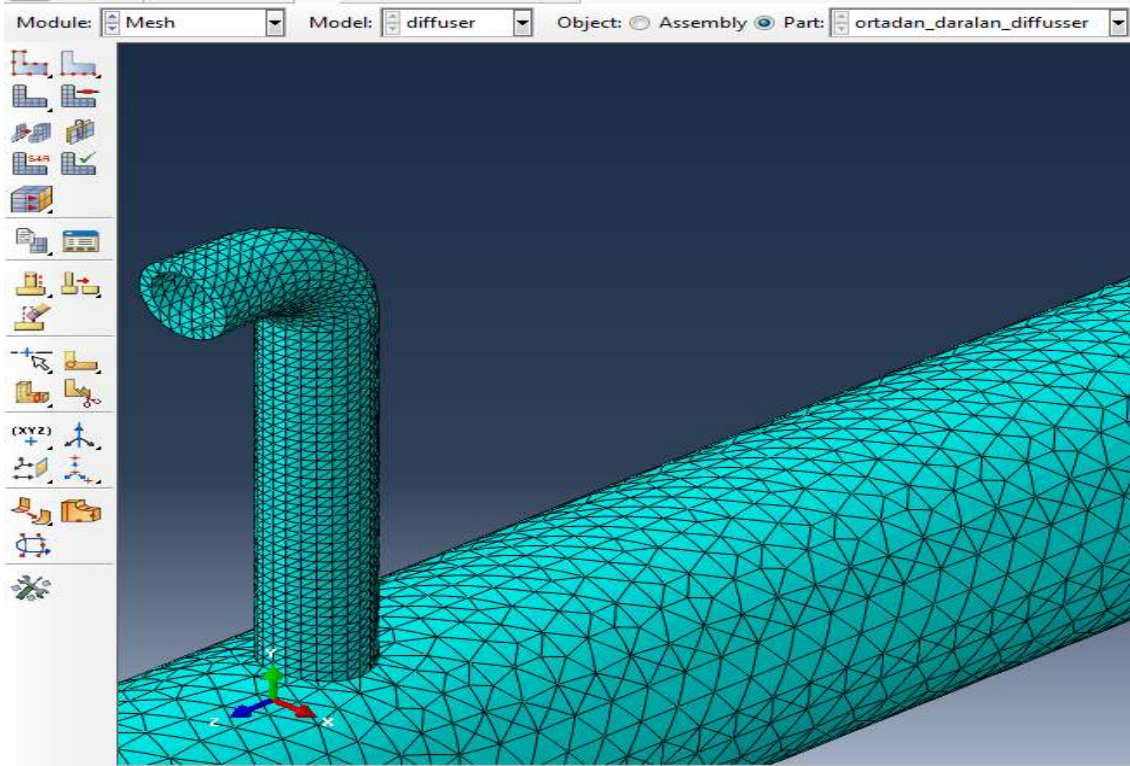
Şekil 2.22. Geometride noktalar oluşturulması

Deşarj sistemini oluşturan çıkışların yapısı nedeniyle bu bölgeler yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi daha küçük aralıklarla noktalara ayrılmıştır. Ana nokta aralığı 0,05 m çıkışlarda ise et kalınlığına eşit 0,01 m'dir.



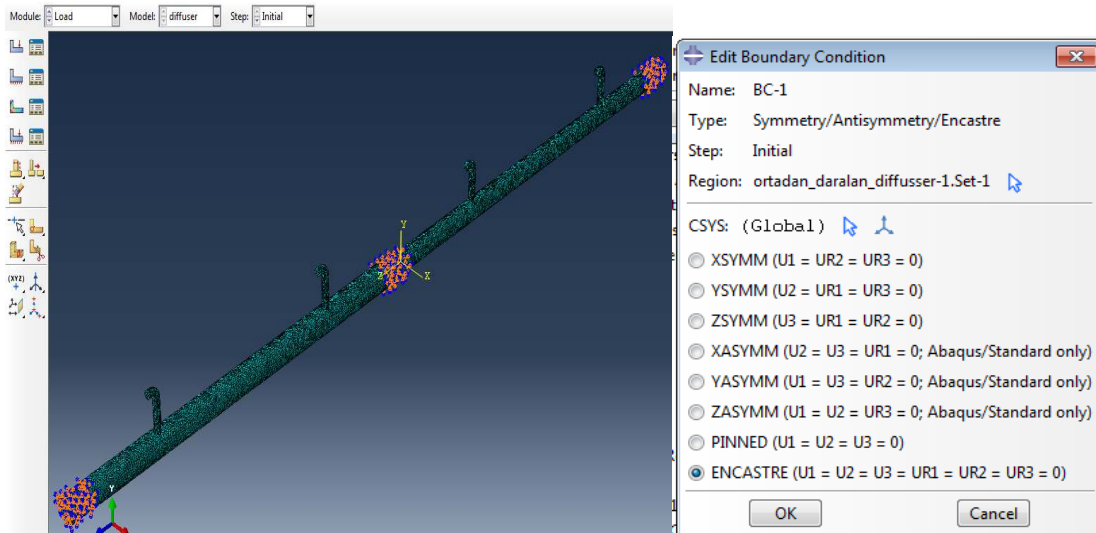
Şekil 2.23. Elaman tipinin belirlenmesi (C3D10M)

Model için etkileşime uygun tetrahedral eleman tipi seçilmiştir. Böylelikle model, Şekil 2.23'de görülen C3D10M tipinde elemanlardan oluşmaktadır. Bu elemanın açılımı; sürekli (C, continuum-solid) üç boyutlu (3D), 10 düğüm noktalı (10), temas problemleri için geliştirilmiş (modified tetrahedron) şeklindedir.



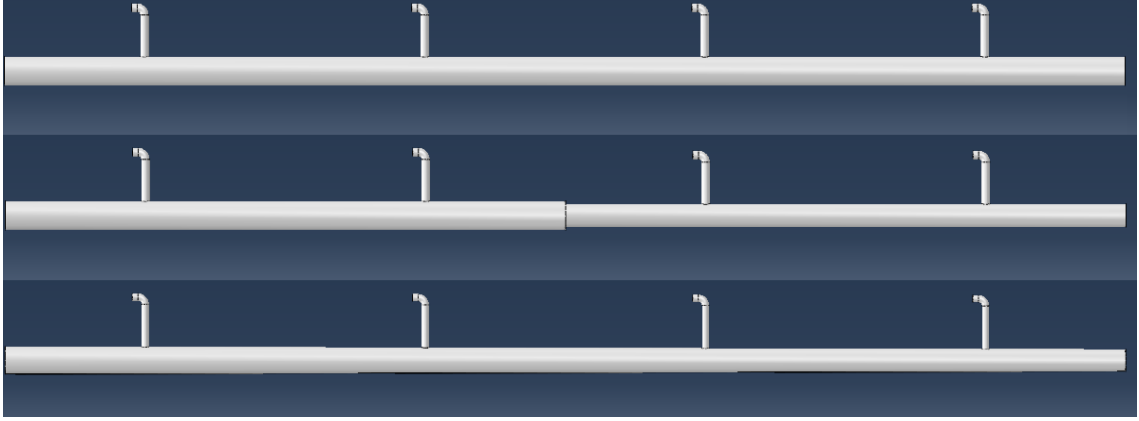
Şekil 2.24. Ana boru-çıkış mesh yapısı

Şekil 2.24’de çıkış borusunun ana boruya göre daha fazla elemana sahip olduğu görülmektedir. Mesh kısmında oluşturulan nokta takımına mesnet şartı atanır. Mesnet arası uzaklık 10 m ve mesnet kalınlığı ise 0,40 m seçilmiştir.



Şekil 2.25. Mesnet yerleri ve şartı

Katı modele dış yük temas yüzeyleri tanımlanıp yük aktarımı sağlanmıştır. Bu yükleme durumuna göre belirlenen mesnetlenme şartı ve yerleri geometri küçük parçalara ayrıldıktan sonra belirlenir.



Şekil 2.26. Farklı difüzör modelleri

Şekil 2.26’da oluşturulan üç farklı model yukarıdan aşağıya doğru sırayla; sabit, kademeli daralan ve tedrici daralan görülmektedir. Üç farklı modelde C3D10M tipi eleman kullanılmıştır. Bu eleman, temas problemlerinde kullanılan, üç boyutlu, dört yüzlü, on noktalı bir elemandır. Sabit kesitli modelde 300814 adet nokta ve 166408 eleman, kademeli kesitli modelde 201290 nokta ve 101934 eleman ve tedrici daralan kesitli modelde 242295 nokta ve 122853 eleman kullanılmıştır. Bu işlemlerden sonra deşarj sisteminin dış yüklemesini oluşturacak akışkan modelleme (CFD) kısmına geçilmelidir.

2.3.2. Hidrolik Modelleme-ABAQUS

Boru iç akımı karakteristiklerinin hesaplanmasında Abaqus/CFD sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Kütlelerin korunumu;

$$\nabla V = 0 \quad (2.35)$$

momentumun korunumu,

$$\rho \left(\frac{\partial V}{\partial t} + V \cdot \nabla V \right) = \nabla \cdot \sigma + \rho_e g \quad (2.36)$$

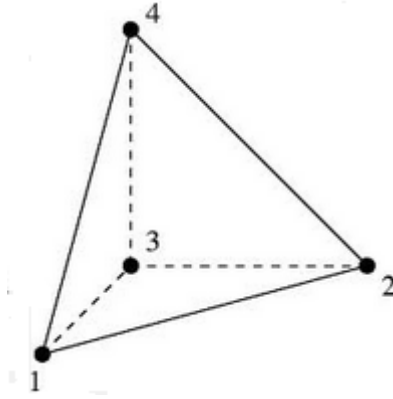
enerjinin korunumu,

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla \cdot (V(E + P)) = 0 \quad (2.37)$$

denklemlerinin sınır şartlarına göre sonlu elemanlar yöntemiyle çözümü kullanılan yazılım ile gerçekleştirilmiştir. Denklemlerde, V hız vektörü, P basınç, E toplam enerji, g yer çekimi ivmesi, t zaman, σ yüzeysel gerilme, ρ_e ise öz kütledir.

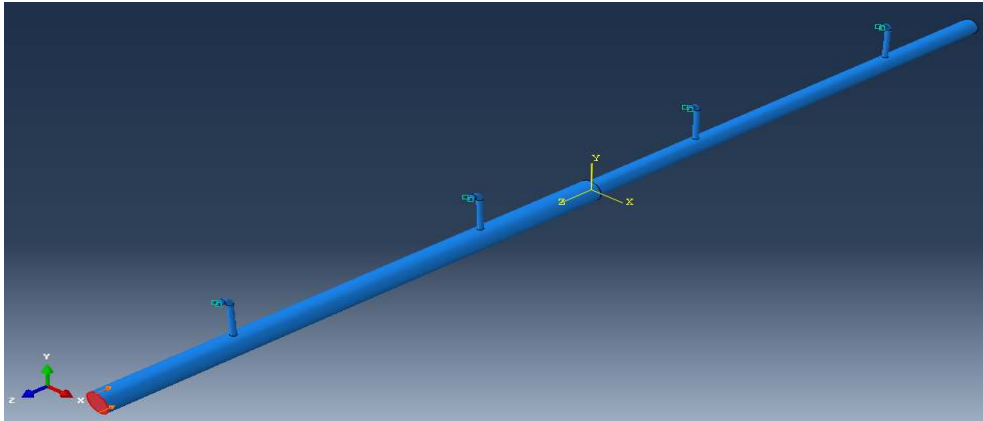
Akışkan modellemesinde geometri oluşturma kısmında izlenen yol katı model ile aynıdır. İç akış geometrisi oluşturulduktan sonra dış akış geometrisi ile birleştirilmiştir ve akışkan modeli oluşturulmuştur. Modelin geometrisi oluşturulduktan sonra modele malzeme ataması yapılmıştır. Atık su EOS malzeme olarak modellenmiştir. EOS modelde c_0 sesin sudaki hızı 1560 m/s, sabitler $k=\Gamma_0=0$ olarak belirlenmiştir. Atık suyun özkütlesi (ρ_e) 990 kg/m³, dinamik viskozitesi, $\mu=1,002 \times 10^{-3}$ Ns/m² olarak atanmıştır.

Akışkan modellerinin elemanlara ayrılmasında da izlenen yol katı modellerde izlenen yol ile aynıdır. Kullanılan eleman geometrisi tetrahedron (4 yüzlü) dür. Akışkan modellerinde kullanılan eleman tipi değişmektedir. Şekil 2.27'de görülen akışkan modellerinde kullanılan eleman tipi FC3D4'dir.



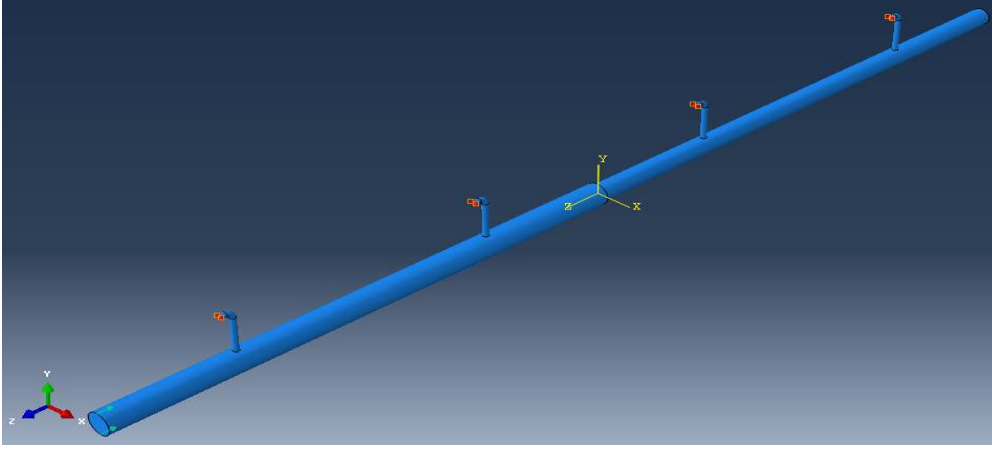
Şekil 2.27. FC3D4 eleman geometrisi

Akışkan-yapı etkileşimine uygun olan bu eleman adının açılımı; akışkan (F), sürekli (C, continuum) üç boyutlu (3D), 4 düğüm noktalı (4), şeklindedir. Temas problemleri için geliştirilmiş (modified tetrahedron) şeklindedir. Sabit kesitli modelde 23125 adet nokta ve 105102 eleman, kademeli daralan kesitli modelde 22895 nokta ve 103897 eleman ve tedrici daralan kesitli modelde 24053 nokta ve 109152 eleman kullanılmıştır. Bu nokta ve elemanların oluşturulmasında genel mesh aralığı 1,00 m, iç akış çıkışlarına özel mesh aralığı ise et kalınlığına eşit 0,01 m'dir.



Şekil 2.28. Ana boru giriş hızının tanımlanması

Şekil 2.28'de görülen başlangıç şartı olarak ana boru giriş hızı ($V_0=0,96$ m/s) modele atanmıştır. Ana boru giriş hızı difüzörden deşarj edilecek suyun maksimum ve minimum hız şartlarını sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Sınır şartı olarak akışkanın boru ile temas ettiği yüzeyler belirlenerek bu yüzeyler akışkan boru etkileşimi için boru ile temas eden yüzey olarak belirlenmiştir (fluid-structure co-simulation boundary). Belirlenen bu bölge geçirimsiz bir duvar olarak CFD tarafından algılanmaktadır.



Şekil 2.29. Difüzör çıkışlarının belirlenmesi

Boru içinden geçen akışkanın hızı başlangıç şartı olarak sisteme girilmiştir. Bu hız difüzör için gerekli şartları sağlamaktadır. Ancak difüzör çıkışında akım hızlarının program tarafından hesaplanması istenmektedir. Bu durumda Şekil 2.29'da görüldüğü gibi akımın çıkışları programda belirlenir. Ancak bu noktadaki basınç değerleri $P=0$ olarak programa atanır (ABAQUS/CFD). Temel akışkanlar mekaniği bağıntıları ve difüzör akım bağıntıları kullanılarak yazılan kod ile bu hızlar bir önceki bölümde hesaplanmıştı. Sonlu elemanlar programından elde edilen çıkış hızları ile hesaplanan hızlar diğer bölümde kıyaslanacaktır.

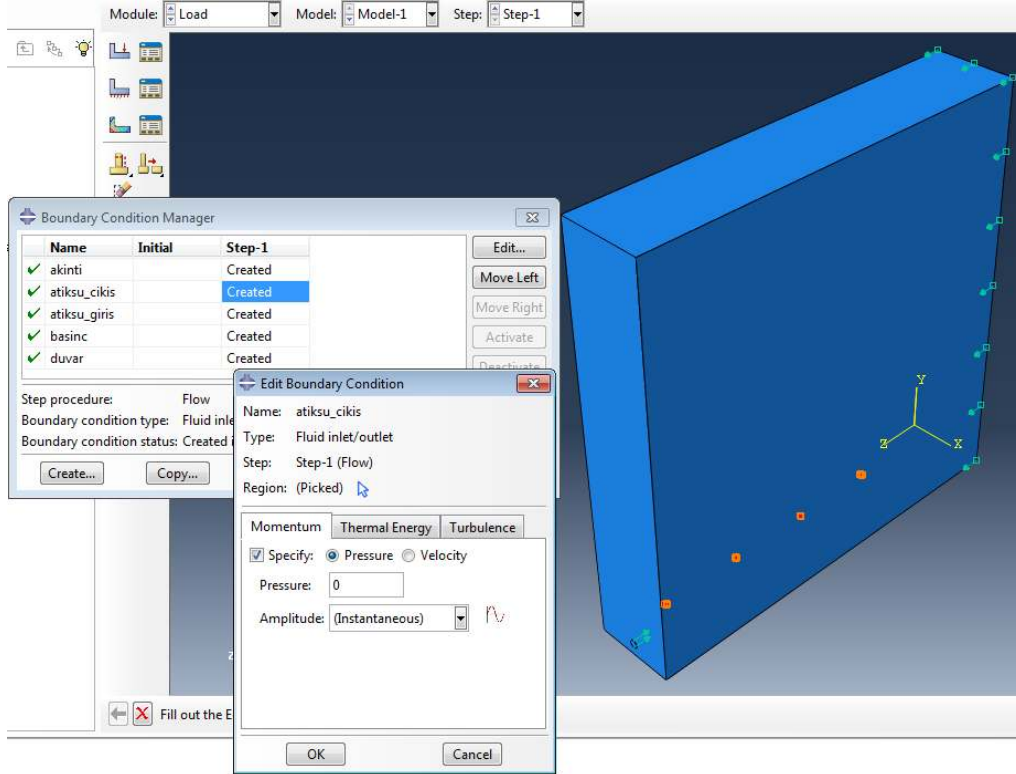
2.3.3. Hidrodinamik Modelleme-ABAQUS

Dalga etkisiyle oluşan akımın çizgileri boru cidarında sürtünmeye ve sınır tabakası oluşumuna, akış hızının yüksek olmasıyla da vortekse neden olmaktadır. Sürtünme etkisiyle akış yönünde sürüklenme kuvveti, ivmeli hareket nedeniyle atalet kuvveti (eklenik kütle ile birlikte), borunun etrafındaki basınç alanlarının akış diki yönlerindeki asimetrisinden hidrodinamik kaldırma kuvveti ve borunun mansabındaki vorteks asimetrisinden de vorteks öteleme kuvveti doğmaktadır. Bu kuvvetlerin doğru ve hassas saptanmasında, doğru dalga teorisine dayanan dalga hız ve ivme değerlerinin, bu teorileri doğrulayan deneysel çalışmalarda hidrodinamik kuvvet katsayılarının ve boru hareketlenmesinden kaynaklanan borunun hareket hız ve ivmelerin doğru ve hassas tanımlanmasının önemi ve payı büyüktür.

Difüzör etrafındaki deniz ortamı 5 m genişliğinde 20 m derinliğinde ve 25 m boyunda bir kontrol hacmi olarak ABAQUS ile modellenmiştir. Lineer dalga teorisi kullanılarak difüzör etrafından geçen dalgalar modellenmiştir. Sonlu Elemanlar Metoduna dayalı program ile dalga modellemesinde sadece dalga teorisine ait hız dağılımının sisteme aktarılması yeterli olmuştur.

2.3.4. Durgun Deniz Ortamında Deşarj Modellemesi

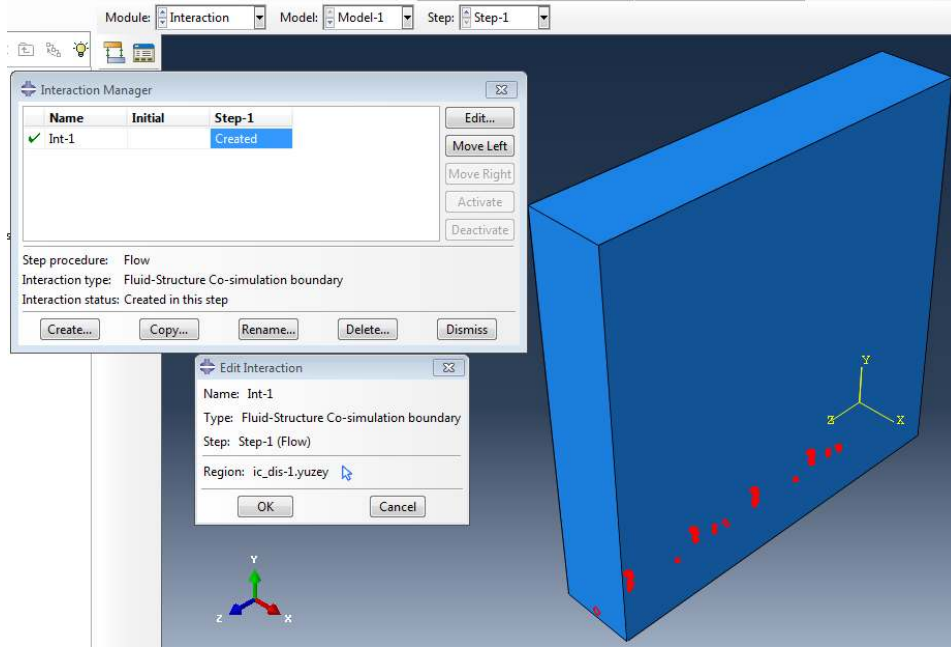
Sonlu Elemanlar Metoduna dayalı program ile durgun ortamda deşarj modellemesi dalgalı ortamda deşarj modellemesi ile benzerlik göstermektedir. Farklı olduğu nokta sadece giriş yüzeyinde dalga denklemleri yerine sabit hızlı akış tanımlanmasıdır.



Şekil 2.30. Durgun ortama deşarj modellemesi

Şekil 2.30'da akımın sınır şartları görülmektedir. Dalgasız ortamda akım hızı derinlikle ve zamanla değişmemektedir ($V_a=1$ m/s). Deşarj borusu içinden geçen akımın debisi yazılan kodda olduğu gibidir. Bilgisayar kodu ile elde edilen parametreler ile ABAQUS/CFD ile elde edilenler bir sonraki bölümde karşılaştırılacaktır.

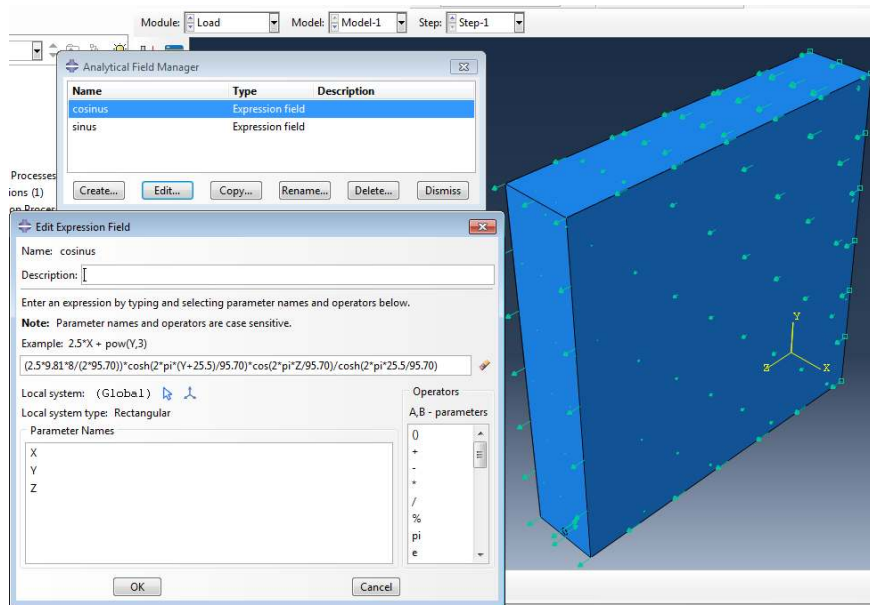
Şekil 2.31'de katı ile temas eden iç ve dış akış yüzeyleri belirlenmiştir. Belirlenen yüzeylerden katıya kuvvet aktarılacak ve yapıda kuvvet etkisiyle oluşacak deformasyonlar bu yüzeylerden akışkana geçecektir. Böylece akışkan katı etkileşimi sağlanacaktır.



Şekil 2.31. Akışkan-katı temas yüzeylerinin belirlenmesi

2.3.5. Dalgalı Deniz Ortamında Deşarj Modellemesi

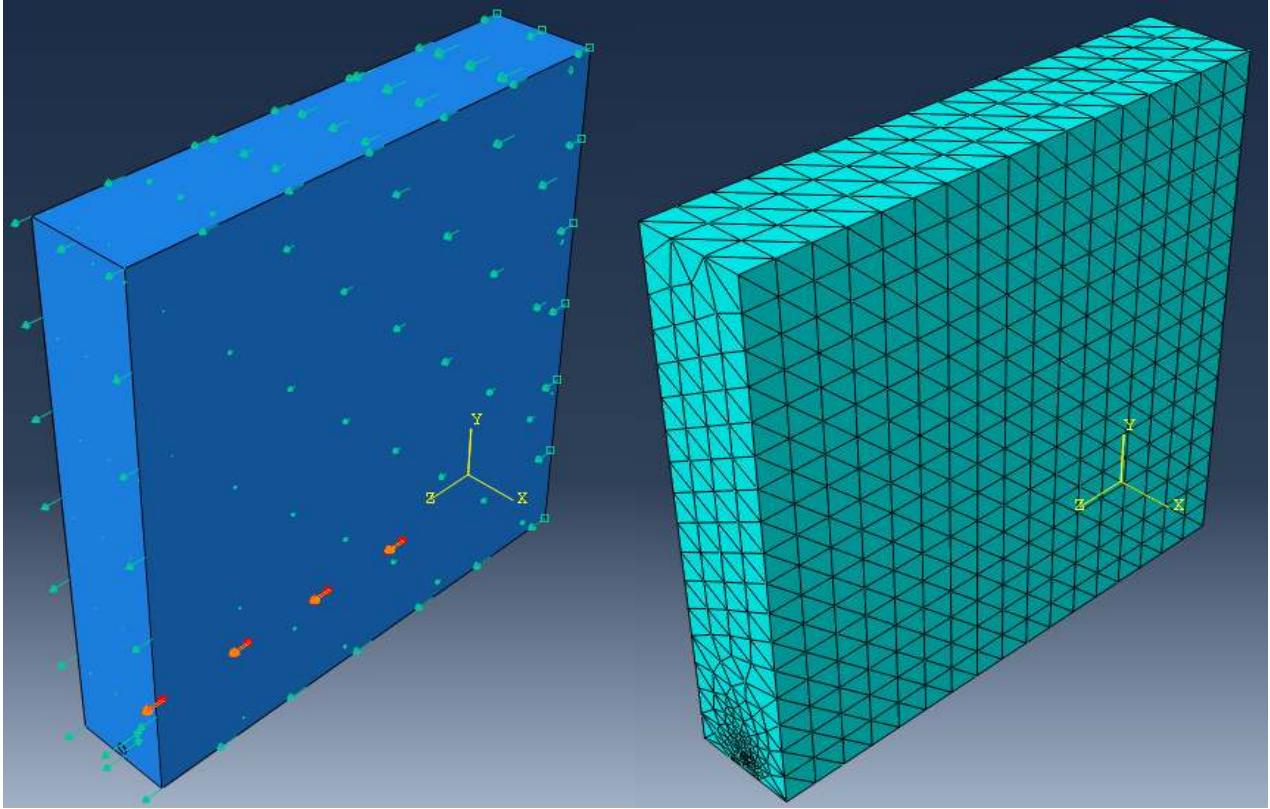
Dalgalı ortamda deşarj modellemesinde Lineer Dalga Teorisinde ait hız bağıntısı kullanılmıştır. Şekil 2.32'de görülen hacme dalga hızı atanmıştır. Dalga parametreleri yazılan bilgisayar kodu ile aynıdır.



Şekil 2.32. Dalga parametrelerinin programa aktarılması

Difüzörün etrafını çevreleyen hacmin tümü dalgalı deniz ortamıdır. Bu parçanın tümü dalga olarak modellenmiştir. Lineer Dalga Teorisi kullanılarak difüzör etrafından geçen dalgalar modellenmiştir. Sonlu

Elemanlar Metodu ile dalga modellemesinde sadece dalga teorisine ait hız dağılımının sisteme aktarılması yeterlidir.



Şekil 2.33. İç-dış akış modellemesi

Şekil 2.33’de görüldüğü gibi iç akışın çıkış noktaları belirlenmiştir. Bu noktalardaki basınç değerleri $P=0$ olarak sisteme aktarılacak bu noktalardaki değerlerin program tarafından belirlenmesi sağlanmıştır.

Dalgasız ortam modellemesinde olduğu gibi ana borudan geçen akımın hızı programa $V_d=0,96$ m/s olarak aktarılmıştır. Dalgalı ortamda ve dalgasız ortamda iletilen akımın hızı aynı modellenerek dış akışın akıma etkisi incelenmiştir.

2.3.6. Akışkan-Yapı Etkileşiminin Modellenmesi

Akışkan ve yapı modellerinde temas yüzeyleri belirlenerek iki modelin birlikte çözümünde akışkandan yapıya aktarılabilecek kuvvetlerin ve yapıdan akışkana aktarılabilecek deformasyonların etki yüzeyleri belirlenmiş olur (ABAQUS). Sonlu elemanlar programı akışkan çözücüsü için Denklem 2.38’i kullanır. Denklemde “f” alt indisi akışkanı temsil etmektedir.

$$k_f u_f = F_f(t) \quad (2.38)$$

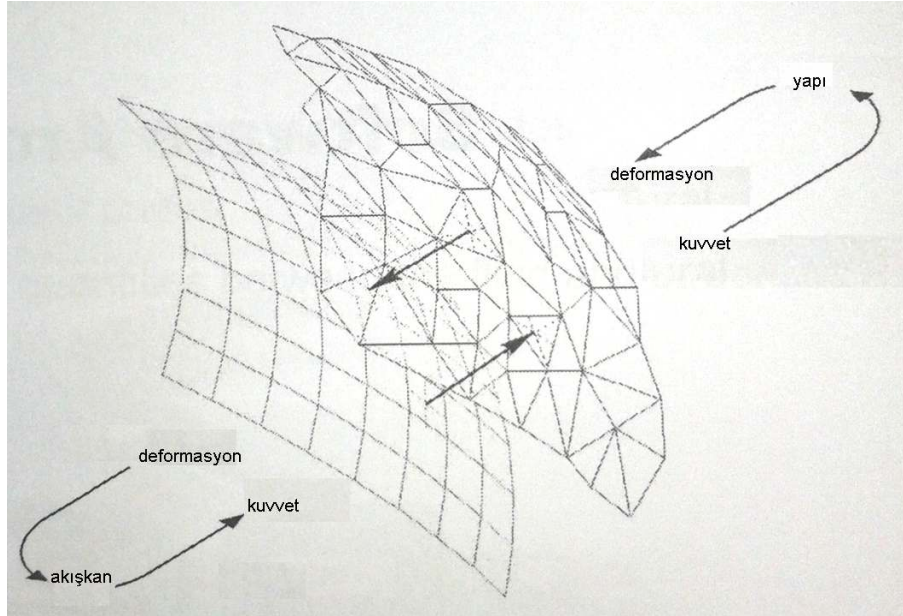
Denklem 2.38'ün çözümü ile yapıya aktarılabak akış kuvvetleri hesaplanır. Denklem 2.39 ile u_f ,

$$u_f = \{p \dot{u}_x \dot{u}_y \dot{u}_z T\}^T \quad (2.39)$$

olarak tanımlanır ve basınca (p), hız bileşenlerine ($\dot{u}_x \dot{u}_y \dot{u}_z$) ve zamana bağılı olarak hesaplanır. Yapı çözücüsü ise akışkan çözücünde elde edilen kuvvet ile,

$$m_s \ddot{u} + c_s \dot{u} + k_s u = F_{FS}(t) \quad (2.40)$$

Denklem 2.40 kullanılarak yapının deplasmanını elde eder. İki çözücünden elde edilen değerler birbirine aktararak etkileşim sağlanır. Denklemlerde, k_s rijitliği, c_s sönümü, m_s kütleyi, $F_{FS}(t)$ ise katı cisim üzerindeki zamanla değişen hidrodinamik kuvveti temsil eder.

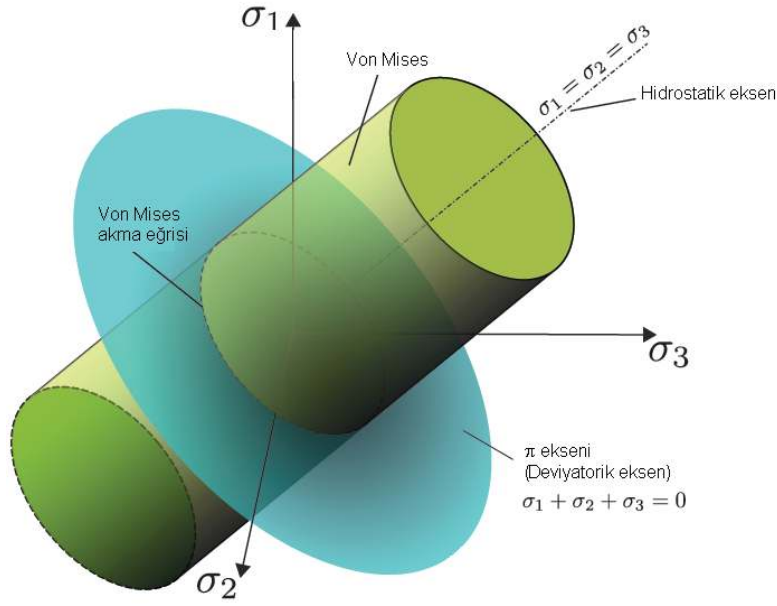


Şekil 2.34. Yapı ve akışkan çözücüsünün etkileşimi

Yapıyı “s” alt indisi temsil edilmektedir. İki çözücünün etkileşimi Şekil 2.34’de görülmektedir.

2.3.7. Akışkan-Yapı Etkileşimine Göre Borudaki Von Mises Gerilmeleri

Bu gerilme hipotezine göre; Kopma, üç eksenli gerilme halinde birim hacme düşen maksimum şekil değiştirme enerjisinin belirli bir değeri aşması halinde meydana gelir. Sünek malzemeler için kullanılan bu hipotez maksimum şekil değiştirme enerjisi hipotezi olarak adlandırılır ve Şekil 2.35’de görüldüğü gibi açıklanır.



Şekil 2.35. Von Mises Gerilmeleri

Herhangi bir gerilme tensörünün hidrostatik ve deviyatorik bileşenlerden oluştuğu bilinmektedir.

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{3} \delta_{ij} \sigma_{kk} + \sigma'_{ij} \quad (2.41)$$

Denklemden σ' , deviyatorik bileşen diğer ifade ise hidrostatik bileşendir. Benzer ifadeler birim şekil değiştirme için aşağıdaki gibi yazılır.

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{3} \delta_{ij} \epsilon_{kk} + \epsilon'_{ij} \quad (2.42)$$

Hooke Kanunu'na göre birim şekil değiştirme aşağıdaki gibi yazılır,

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{E} \left[(1 + \nu) \sigma_{ij} - \nu \delta_{ij} \sigma_{kk} \right] \quad (2.43)$$

Denklem matris formunda yazılırsa aşağıdaki matris elde edilir.

$$\begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{xy} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{xz} & \epsilon_{yz} & \epsilon_{zz} \end{bmatrix} = \frac{1}{E} \left\{ (1 + \nu) \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} - 3\nu \begin{bmatrix} \sigma_{hyd} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{hyd} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{hyd} \end{bmatrix} \right\} \quad (2.44)$$

Matris formundan aşağıdaki denklem sistemi elde edilir.

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{xx} &= [\sigma_{xx} - \nu(\sigma_{yy} + \sigma_{zz})]/E \\
\varepsilon_{yy} &= [\sigma_{yy} - \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{zz})]/E \\
\varepsilon_{zz} &= [\sigma_{zz} - \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})]/E
\end{aligned} \tag{2.45}$$

Eksenlerdeki yer değıştirme miktarları ise,

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1+\nu}{E} \sigma_{xy} \quad \varepsilon_{yz} = \frac{1+\nu}{E} \sigma_{yz} \quad \varepsilon_{xz} = \frac{1+\nu}{E} \sigma_{xz} \tag{2.46}$$

olarak bulunur. Kesme terimleri ise,

$$\gamma_{xy} = \tau_{xy}/G \quad \gamma_{yz} = \tau_{yz}/G \quad \gamma_{xz} = \tau_{xz}/G \tag{2.47}$$

ile ifade edilir. Kesme terimleri yer değıştirmeler cinsinden ifade edilirse,

$$\gamma_{xy} = 2\varepsilon_{xy} \quad \gamma_{yz} = 2\varepsilon_{yz} \quad \gamma_{xz} = 2\varepsilon_{xz} \quad G = E/2(1+\nu) \tag{2.48}$$

Denklemler δ_{ij} ile çarpılarak,

$$\varepsilon_{kk} = \frac{1-2\nu}{E} \sigma_{kk} \tag{2.49}$$

elde edilir. Sonuç olarak denklem aşağıdaki halini alır.

$$\frac{1}{3} \delta_{ij} \varepsilon_{kk} = \frac{1-2\nu}{3E} \delta_{ij} \sigma_{kk} \tag{2.50}$$

Denklemden ki deviyatorik ifadeler aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\varepsilon'_{ij} = \frac{1}{2G} \sigma'_{ij} \tag{2.51}$$

Denklemlerdeki deviyatorik gerilme ve şekil değıştirme ifadeleri birbiri cinsinden ifade edilmiş olur.

Şekil Değıştirme Enerjisi: Şekil değıştirme enerjisi yoğunluğu (W) boyut olarak (Enerji/Hacim) ifade edilir ve aşağıda verilmiştir.

$$W = \int \sigma : d\varepsilon \tag{2.52}$$

Lineer elastik malzemeler için yukarıdaki enerji denklemi,

$$W = \frac{1}{2} \sigma : \varepsilon \tag{2.53}$$

şeklinde ifade edilir. Enerji denkleminde deviyatorik ve hidrostatik bileşenler yazılırsa

$$W = \frac{1}{2} \sigma : \varepsilon = \frac{1}{2} \sigma_{\text{hyd}} : \varepsilon_{\text{hyd}} + \frac{1}{2} \sigma' : \varepsilon' \quad (2.54)$$

Enerji denklemi elde edilir, burda enerji denkleminin de hidrostatik deviyatorik bileşenlerinin olduğunu göstermektedir.

Von Mises Gerilmeleri: Von mises gerilmeleri doğrudan enerji denklemindeki deviyatorik bileşenler ile bağlantılıdır.

$$W' = \frac{1}{2} \sigma' : \varepsilon' \quad (2.55)$$

Hooke Kanununda bilinen aşağıdaki ifade denklemde yazılarak,

$$\varepsilon' = \frac{1}{2G} \sigma' \quad (2.56)$$

enerji denklemi yer değiştirmelerden bağımsızlaştırılır. Gerilmeler cinsinden enerji denklemi yazılarak Von Mises Gerilme denklemi elde edilir.

$$\sigma_{\text{VM}} = \sqrt{\frac{3}{2} \sigma' : \sigma'} \quad (2.57)$$

Von Mises Gerilmeleri farklı formlarda yazılabilir. SAP 2000 programı bu formlarda aşağıdaki denklemi kullanır.

$$\sigma_{\text{VM}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 \right] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (2.58)$$

ABAQUS Sonlu Elemanlar Programı ise aşağıdaki denklemi kullanarak Von Mises gerilmelerini elde eder.

$$\sigma_{\text{VM}} = \sqrt{\frac{3}{2} \sigma_{ij} \sigma_{ij} - \frac{1}{2} (\sigma_{kk})^2} \quad \sigma_{\text{VM}} = \sqrt{\frac{3}{2} \sigma'_{ij} \sigma'_{ij}} \quad (2.59)$$

3. AKIŞKAN-BORU AYRIK ve BÜTÜNLEŞİK SİSTEMLERE GÖRE HESAPLANAN İÇ-DIŞ AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN VE GERİLME-DEPLASMAN DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu kapsamda; *akışkan-boru ayrik sistem esasına göre*, diğer bir deyişle, difüzör analizi DIFDES, HYDRODIF ve SAP2000 programları ile akışkan parametrelerinin boruya etkimesi ancak borunun elastikiyeti ile akışkanın parametrelerinin etkilenmediği esasına göre:

(1) *Difüzör Ön Boyutlandırma*: Belli bir ana difüzör çapı ve çoklu çıkış borularının çap, boy ve aralıklarının DIFDES programına tanıtılması, durgun deniz ortamında üniform-kararlı boru içi akışın hidrolik analizi ve akış koşullarına seçilen boyutların uygunluğunun belirlenmesi, uygun olmaması durumunda uygun boyutların tayin edilmesine dair işlemler DIFDES programıyla yürütülmesi,

(2) *Difüzör ve Tespit Kitlelerinin Stabilité ve Gerilme Analizi*: Dalgalı deniz ortamında üniform-kararlı boru içi akışın hidrodinamik dış basınç altındaki ön boyutlandırma yapılan difüzörün HYDRODIF ve SAP2000 programlarından elde edilen iç-dış etkileşimli akış hızına, iç ve dış basınç değişimlerine karşın sürekli giriş tipi yapısal analiz edilmesi

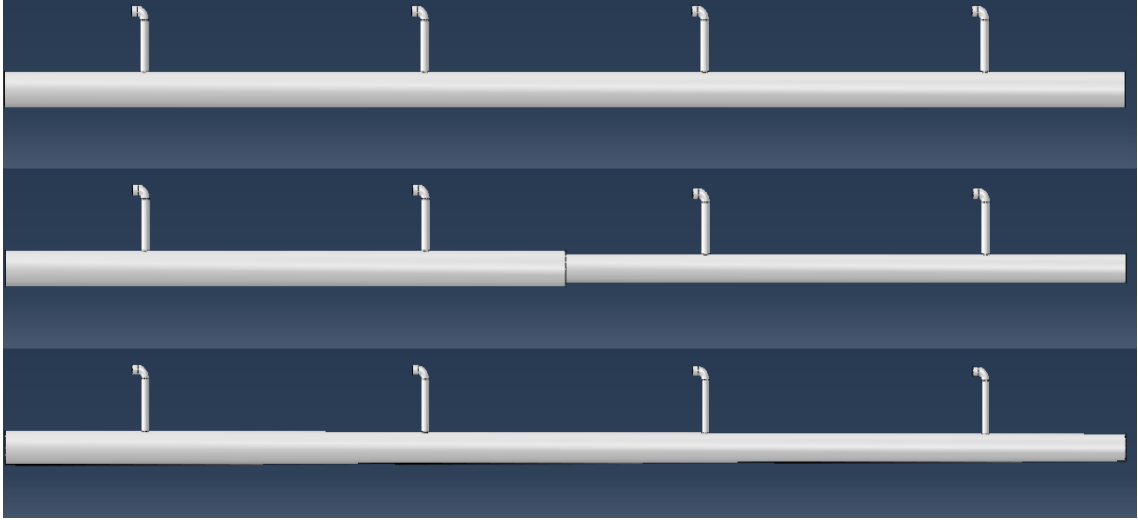
biçiminde ve *akışkan-boru etkileşim esasına göre*, akışkanın difüzör üzerinde difüzörün de akışkan üzerindeki karşılıklı etkileşimi DIFDES ve HYDRODIF yazılımının kullanılması ile iç-dış akışkan hareketi ve tasarlanmış difüzör boyutları başlangıç ve sınır koşulları olarak ABAQUS yazılımı ile yüklenmiş ve iç-dış akış parametreleri ve bununla birlikte gerilme ve deformasyonlar hesaplanmıştır.

3.1. Deniz, Boru ve Zemine İlişkin Veriler

Deşraj difüzör toplam boyu	: 100 m
Mesnetler arası boru hattı açıklığı:	10 m
Hesaplanan difüzör aralığı	: Son iki aralık toplam 20m
Difüzör Ana Boru Dış Çapı	: $D_d=0,50$ m (sabit kesitli difüzör)
	$D_d=0,50$ m- $D_d=0,40$ m(kademeli daralan kesitli difüzör)
	$D_d=0,50$ m- $D_d=0,40$ m (tedrici daralan kesitli difüzör)
Difüzör/Çıkış Borusu Malzemesi:	Çelik (üç farklı difüzör için)
Çelik Elastisite Modülü	: $E=2,1 \times 10^{11}$ N/m ²
Çelik Poisson Oranı	: 0,30
Difüzör/Çıkış Borusu Et Kalınlığı:	0,01 m
Çıkış Borusu Boyu/Çapı	: 1,00 m/ 0,13 m
Çıkış Borusu Ara Mesafe	: 5,00 m
Difüzör Derinliği (Sabit)	: 20 m
Boru İçi Sürtünme Katsayısı	: 0,02
Ani Daralma Kayıp Katsayısı	: 0,16 (Difüzör Ana Borusu İçin)

Difüzör Çıkış Borusu Giriş Kaybı:	0,70
Çıkış Borusu Dirsek Yerel Kaybı:	0,50 (90° açılı)
Çıkış Ağzı Kaybı	: 1,00
Dalga Yüksekliği/Periyodu/Boy:	2,50 m/ 8 s/ 95,70 m (Lineer Dalga Teorisine göre)
Deşarj Debisi/Üniform Hızı	: 173 l/s / 0,957 m/s (Boru içi akış koşullarını sağlamakta)
C_M, C_D, C_L	: 2,40/ 0,70/ 0
İçsel sürtünme açısı	: 45°
Sürtünme Katsayısı	: 1,00 (Beton-Kumlu Zemin) (0,6 ~ 1,4)
Taşıma Gücü Katsayısı (N_γ, N_q):	109,40 / 64,19
Beton yoğunluğu	: 2400 kg/m ³
Deniz Suyu Yoğunluğu	: 990 kg/m ³
Deşarj Suyu Yoğunluğu	: 990 kg/m ³
Çelik Yoğunluğu	: 7850 kg/m ³

Toplam boyu 100 m olan difüzörde 5 m aralıklı 20 adet çıkış borusu deşarj sisteminin sabit/ kademeli daralan/ tedrici daralan kesitli difüzör ana borusunun Şekil 3.1’de görülen son iki açıklığı üç farklı model tasarlanmıştır.



Şekil 3.1. Farklı kesitli difüzörler

Üç model olarak tasarlanan difüzörün analizinde akışkan-boru ayırık ve bütünleşik sistemler analiz edilmiştir.

3.2. Akışkan-Boru Ayırık Sistem Esasına Göre Difüzör Analizi (DIFDES+HYDRODIF+SAP2000)

3.2.1. Difüzör Ön Boyutlandırma

Belirli bir ana difüzör çapı ve çoklu çıkış borularının çap, boy ve aralıklarının DIFDES programına tanıtılması, durgun deniz ortamında üniform-kararlı boru içi akışın hidrolik analizi ve akış koşullarına seçilen boyutların uygunluğunun belirlenmesi, uygun olmaması durumunda uygun boyutların tayin edilmesine dair işlemler

DIFDES programıyla yürütülmüştür. Fiziksel özellikleri verilen boru ve boru hattına ilişkin olarak Durgun Deniz Ortamında Deşarj Esasına göre modellerin geometrilerinin akış şartlarını sağladığı tespit edilmiştir. Veriler analiz edilerek Sabit Kesitli/Kademeli Daralan Kesitli/Tedrici Daralan Kesitli difüzör ana borusunun dikkate alındığı üç model (Çizelge 3.1) için DIFDES kodlamasıyla difüzör ana borusu kesiti/kesitleri, çıkış kesitleri, aralıkları, boyu gibi boyutlar hidrolik analiz kriterlerine göre durgun deniz ortamına deşarj edecek biçimde hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1. DIFDES yazılımı ile elde edilen sabit kesitli boru iç basınç, çıkış hızı ve enerji değerleri

Çıkış	Sabit kesitli difüzör			Kademeli daralan kesitli difüzör			Tedrici daralan kesitli difüzör		
	Basınç (N/m ²)	Hız (m/s)	Enerji (m)	Basınç (N/m ²)	Hız (m/s)	Enerji (m)	Basınç (N/m ²)	Hız (m/s)	Enerji (m)
1	205238,28	4,54	30,31	205948,80	4,53	30,33	206219	4,51	30,27
2	205698,01	4,57	30,33	207353,40	4,54	30,42	206678,9	4,53	30,28
3	207403,68	4,58	30,36	206874,80	4,57	30,56	207090,1	4,56	30,31
4	207712,28	4,59	30,44	207587,50	4,61	30,64	207589,2	4,61	30,36
5	208002,43	4,60	30,48	207662,91	4,62	30,72	207979,5	4,61	30,44
6	208360,63	4,60	30,52	208216,82	4,63	31,01	208337,9	4,61	30,56
7	209128,71	4,61	30,65	208583,41	4,63	31,12	207099,4	4,62	30,72
8	209533,06	4,62	30,89	208813,62	4,64	31,45	207529,7	4,62	30,92
9	209834,87	4,62	31,56	208928,33	4,64	31,89	208949,1	4,62	31,18
10	210035,46	4,63	31,76	210070,65	4,64	32,01	209738,4	4,63	31,50
11	210691,21	4,64	32,66	210187,74	4,65	32,16	210208,6	4,64	31,89
12	211299,25	4,65	32,78	211253,71	4,67	32,78	210672,8	4,65	32,35
13	212123,23	4,66	33,89	212179,21	4,67	33,01	212452	4,66	32,89
14	213014,98	4,67	34,04	212780,62	4,68	33,45	212955,3	4,68	33,11
15	213719,32	4,67	34,18	212861,32	4,68	33,56	213456,4	4,68	33,53
16	214670,34	4,67	34,79	214452,51	4,70	34,02	214208,1	4,69	33,95
17	214761,20	4,68	35,12	214789,55	4,71	34,32	214737,7	4,70	34,17
18	215290,87	4,71	35,53	215245,82	4,71	34,45	215267,3	4,71	34,51
19	216025,93	4,72	35,61	216371,13	4,72	35,02	216002,4	4,71	34,76
20	216578,00	4,73	36,01	216587,74	4,73	35,13	216554,2	4,72	35,14

Difüzörün 20 kesitinde elde edilen basınç, hız ve enerji değerleri Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi üniform-kararlı akışa göre hesaplanmıştır

3.2.2. Difüzör ve Tespit Kitlelerinin Stabilité ve Gerilme Analizi

Dalgalı deniz ortamında üniform-kararlı boru içi akışın hidrodinamik dış basınç altındaki ön boyutlandırma yapılan difüzörün HYDRODIF ve SAP2000 programlarından elde edilen iç-dış etkileşimli akış hızına, iç ve dış basınç değişimlerine karşın sürekli giriş tipi difüzörün yapısal analizi incelenmiştir.

HYDRODIF yazılımı ile de fiziksel özellikleri verilen boru ve boru hattına ilişkin olarak Dalgalı (Sinüzoidal) Deniz Ortamında Deşarj Esasına göre modellerin geometrilerinin akış şartlarını sağladığı tespit edilmiştir. Hidrolik ve hidrodinamik veriler analiz edilerek Sabit Kesitli/Kademeli Daralan Kesitli/Tedrici Daralan Kesitli

difüzör ana borusunun dikkate alındığı üç model için HYDRODIF kodlamasıyla difüzör ana borusu ve çıkış borularındaki iç basınçlar, deşarj hızları ve enerji yükseklikleri Çizelge 3.2'deki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 3.2. HYDRODIF ile sabit/ kademeli daralan/ tedrici daralan kesitli difüzör boru iç basınç, çıkış hızı ve enerji değerleri (Dalgalı Deniz Ortamı)

Çıkış	Sabit kesitli difüzör			Kademeli daralan kesitli difüzör			Tedrici daralan kesitli difüzör		
	Basınç (N/m ²)	Hız (m/s)	Enerji (m)	Basınç (N/m ²)	Hız (m/s)	Enerji (m)	Basınç (N/m ²)	Hız (m/s)	Enerji (m)
1	204561,18	4,53	30,21	205312,29	4,51	30,21	205561,20	4,51	30,27
2	205019,40	4,55	30,25	206712,56	4,53	30,29	206019,60	4,53	30,28
3	206719,44	4,56	30,30	206235,50	4,56	30,32	206429,50	4,56	30,31
4	207027,02	4,59	30,34	206946,00	4,61	30,34	206927,00	4,61	30,36
5	207316,21	4,59	30,41	207021,10	4,61	30,42	207316,10	4,61	30,44
6	207673,23	4,60	30,46	207573,30	4,61	30,52	207673,30	4,61	30,56
7	208438,78	4,60	30,62	207938,80	4,62	30,59	206438,80	4,62	30,72
8	208841,79	4,61	30,82	208167,70	4,62	30,76	206867,70	4,62	30,92
9	209142,61	4,62	31,21	208282,60	4,62	31,23	208282,60	4,62	31,18
10	209342,54	4,62	31,71	209421,40	4,63	31,44	209069,40	4,63	31,50
11	209996,12	4,63	32,24	209538,10	4,63	32,12	209538,10	4,64	31,89
12	210602,16	4,64	32,32	210600,80	4,64	32,13	210000,80	4,65	32,35
13	211423,42	4,66	33,01	211523,30	4,66	32,54	211774,30	4,66	32,89
14	212312,23	4,67	33,24	212123,00	4,67	33,23	212276,00	4,68	33,11
15	213014,24	4,68	33,18	212203,50	4,68	33,52	212775,50	4,68	33,53
16	213962,13	4,68	34,05	213789,80	4,69	33,45	213524,80	4,69	33,95
17	214052,69	4,69	34,27	214125,70	4,70	34,21	214052,70	4,70	34,17
18	214580,61	4,70	34,30	214580,60	4,71	34,65	214580,60	4,71	34,51
19	215313,24	4,71	35,21	215702,40	4,71	34,98	215313,40	4,71	34,76
20	215863,49	4,71	35,38	215918,40	4,72	35,98	215863,40	4,72	35,14

MATLAB ile kodlama yapılan DIFDES ve HYDRODIF programlarından elde edilen bilgiler; hem akışkan-boru ayrık sistem hem de bütünleşik sistem esasına göre difüzör analizlerinde kullanılmaktadır.

Difüzör Ana Borusunun Stabilesi: iç ve dış kuvvetler ile boru ve akışkan ağırlıklarının yatay ve düşey yönlerde dengelenmesiyle yapılmaktadır.

Çizelge 3.3. Difüzöre etki eden yatay ve düşey kuvvetler

	Yatay Kuvvetler (N/m)	Düşey Kuvvetler (N/m)
Boru Ağırlığı		↓ 1208,42
Akışkan Ağırlığı		↓ 1809,55
Kaldırma kuvveti		↑ 1963,49
Hidrodinamik Kaldırma Kuvveti*		0,00
Sürükleme Kuvveti	360,00	
Atalet Kuvveti	90,00	
Toplam	450,00	↓ 1054,47

*CL=0.00 olduğundan dikkate alınmamıştır.

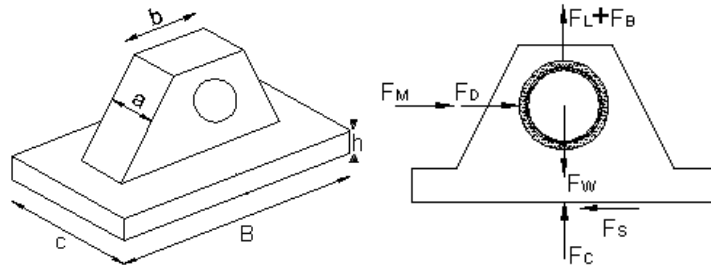
Basit kiriş tipi bir 10m boyundaki difüzörün tespit kitlelerine etkiyecek reaksiyon kuvvetleri; düşey kuvvet 10540,00 N/m (yerçekimi yönünde) ve net yatay kuvvet ise 4500,00 N/m'dir. Yerçekim yönündeki ağırlığın yüzmeyi engelleyecek olmasından dolayı difüzörün yapay ağırlaştırmasına gerek kalmamıştır. Mesnetlerde oluşan yatay ve düşey reaksiyonlara göre mesnet ağırlığının ve mesnet taban yüzeyinin boyutları kontrol edilecektir.

Et Kalınlığı Kontrolü; difüzör et kalınlığı; maksimum iç basınç $P_d=220858 \text{ N/m}^2$ alındığında $s=4 \times 10^{-4} \text{ m}$ hesaplanmıştır. Bu değer, seçilen et kalınlığı değerinden küçük olduğundan emniyetlidir.

Burkulma Kontrolü; yerel burkulma kontrolünde ise burkulmaya neden olacak basıncın $P_b=3736202 \text{ N/m}^2$, maksimum dış basınçtan $P_a=209102 \text{ N/m}^2$ büyük olduğu tespit edilerek borunun burkulmaya maruz kalmadığı görülür.

Sehim Kontrolü; mesnetler arası mesafe 10m için toplam düşey üniform yükün 1054,47 N/m olarak alınmasıyla, SAP2000 analizinde sürekli iki açıklıklı kiriş; $4,5 \times 10^{-4} \text{ m}$ sehim yapmaktadır. Bu değer sehim sınır değeri; 10/500 değerinden küçük olduğundan sistem sehim bakımından emniyetlidir.

Tespit Kitlesi Stabilitesi; mesnetlere yerleştirilecek olan Şekil 3.2'de görülen tespit kitlelerinin boyutları farklı tasarlanabilir. Bu çalışmada; $0,3 \text{ m} < a < 1,5 \text{ m}$, $c=a+0,6 \text{ m}$, $0,2 \text{ m} < h < 1 \text{ m}$ boyutları seçilmiştir. Tespit kitlesine bir mesnet olarak borudan etkiyen yatay ve düşey yüklere ilaveten bir de tespit kitlesine yani mesnede geometrik yapısından dolayı etkiyen atalet ve sürüklenme kuvveti ile hidrodinamik kuvvet de etkiyecektir. Bu çalışmada mesnet kaldırma kuvveti ve mesnet ağırlığının dikkate alınması yeterli görülmüştür.



Şekil 3.2. Tespit kitlesinin perspektif görünüşü ve etkiyen kuvvetler

Tespit kitlesi boyutları $a/c/h/b/B$: 0,40 m/1,00 m/0,30 m/1,20 m/4,65 m seçilirse bulunur. Bu durumda beton tespit kitlesi ağırlığı 45641,51 N olarak hesaplanmıştır.

Kayma Kontrolü: tespit kitleleri (mesnetler) arası kiriş olarak tanımlanan boruya etkiyen net toplam düşey ve yatay kuvvetlerin yatay dengesi;

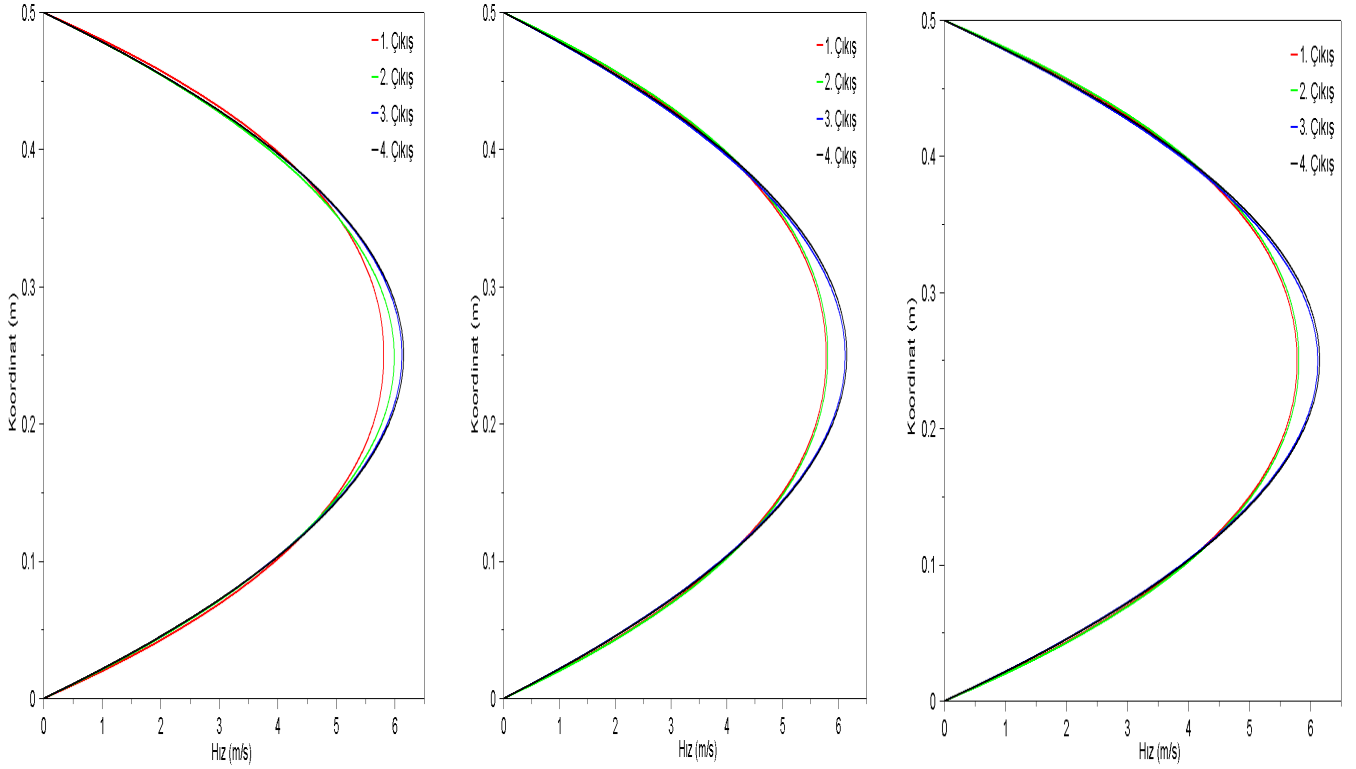
$$(w - \max F_L) \beta \geq \max F_H \quad (4.1)$$

Koşulunu sağlamak ve $[(10540,47)+(2880)](1) \geq (1,5)(4500,00)$ yatay ötelenme önlenmekte ve kaymaya karşı sistem uygun sonuç vermektedir. Yanal zemin direnci $F_s = 0,95 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ hesaplandığı durumda tespit kitlesindeki toplam yatay kuvvet; $R_{my} = 4410 \text{ N}$ (SAP2000 programından sürekli giriş) $R_{my} < F_s(cB)$ koşulunu $4410 < 44175$ biçiminde sağlamaktadır.

Taşıma Gücü Kontrolü: Zemin taşıma kapasitesi kuvveti, kohezyonsuz zeminler için $F_c = 2,571 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ bulunur. Boruya etkiyen toplam düşey kuvvetin mesnetlerde oluşturduğu maksimum düşey reaksiyon kuvvetleri; $R_{md} = 10837,53 \text{ N}$, (SAP2000 programından sürekli giriş) zemin taşıma gücüne göre $R_{md} < F_c(cB)$ yapıldığında $10837,53 < 119551$ olarak emniyetli olduğu görülür.

3.3. Durgun Deniz Ortamında Deşarj Modellemesi

Bu çalışmada; dış ortamın dalgalı ve sabit hızlı olmasına göre çözümlemeler yapılarak ortam kabullerinin sonuçları nasıl değiştirdiği belirlenmiştir. HYDRODIF yazılımından edilen çıkış hızları ABAQUS modellemesinden elde edilenler karşılaştırılmıştır. Bir modele ait çıkış hızlarının kesit boyunca değişimini göstermek için bir eksen üzerindeki beş adet düğüm noktasındaki hız değerleri dikkate alınmıştır. Bu noktalardan her biri, difüzör ana borusu kesiti ile farklı adette dizayn edilen üçgen meshlerin eksen doğrultusundaki bir noktasını temsil etmektedir. Bir modele ait aksenal çıkış hızları beş adettir. Üç farklı model için aksenal çıkış hızları; sabit kesitte {21-351-353-347-28}, kademeli daralan kesitte {38-458-462-454-43} ve tedrici daralan kesitte {60-473-477-469-67} olarak alınmıştır. Üç model için de ifade edilen, ancak üç modelde de aynı konumdaki eksenler üzerinde bulunan beş noktadaki akış hızları ve kesitlerdeki hız diyagramları Şekil 3.3'de yer almaktadır.



Şekil 3.3. Sabit/ kademeli daralan/ tedrici daralan kesitli modelin son dört çıkış hız-kesit değişimi

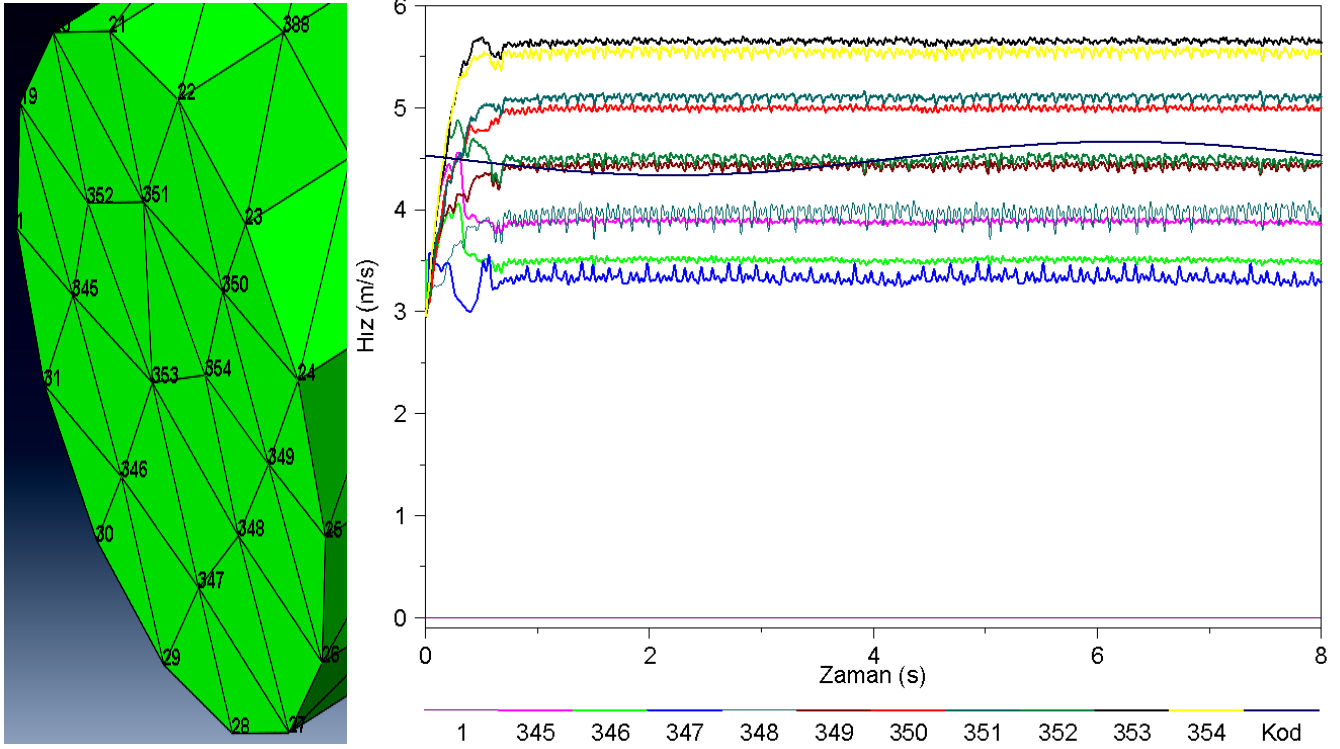
Hız diyagramlarından yararlanarak bir çıkış kesitini temsil eden ortalama üniform hız hesaplanmıştır. Bu hızların üç model ve her bir modeldeki dört çıkış için değerleri Çizelge 3.4.'de verilmektedir.

Çizelge 3.4. Durgun ortamda difüzörlerin ortalama çıkış hızı değerleri

Çıkış	Sabit kesit çıkış hızı(m/s)		Kademeli daralan kesit çıkış hızı (m/s)		Tedrici daralan kesit çıkış hızı (m/s)	
	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS
1	4,54	4,56	4,53	4,54	4,53	4,56
2	4,56	4,57	4,54	4,55	4,56	4,57
3	4,58	4,60	4,57	4,60	4,57	4,59
4	4,60	4,61	4,63	4,64	4,62	4,63

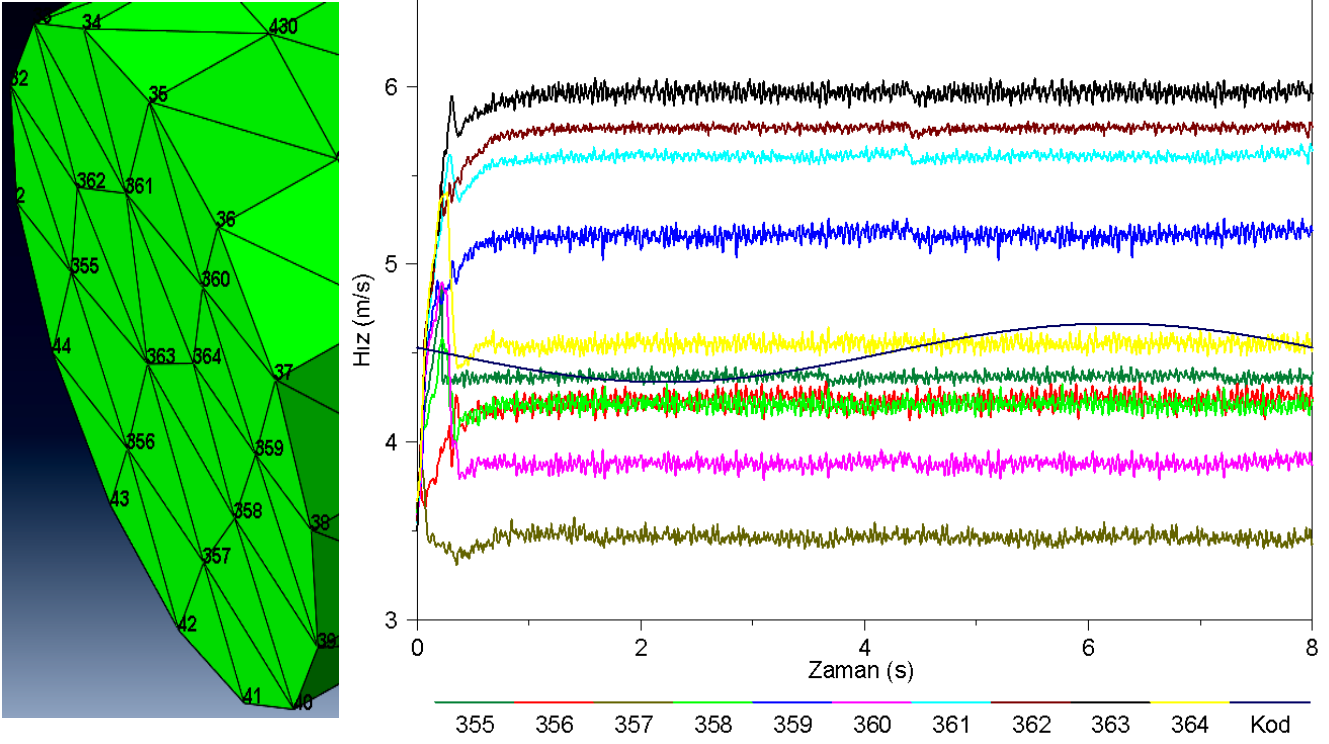
Gerek HYDRODIF gerekse ABAQUS modellemelerinden benzer ortalama çıkış hızları elde edilmiştir.

ABAQUS ile modellemede dikkate alınan üç difüzör tipinin her birinde yer alan çıkış nokta numaralarındaki koordinatlarda hesaplanan hızların zamanla değişimi elde edilmiştir. ABAQUS çıktı hızları nokta numaraları ile ayırık sistemde hesaplanan çıktı hızları da “KOD” adı altında şekillerde tanımlanmıştır. Son dört çıkış hızlarını sabit kesitli difüzör için Şekil 3.4-3.7, kademeli daralan kesitli difüzör için Şekil 3.8-3.11 ve tedrici daralan kesitli difüzörün için Şekil 3.12-3.15 göstermektedir.

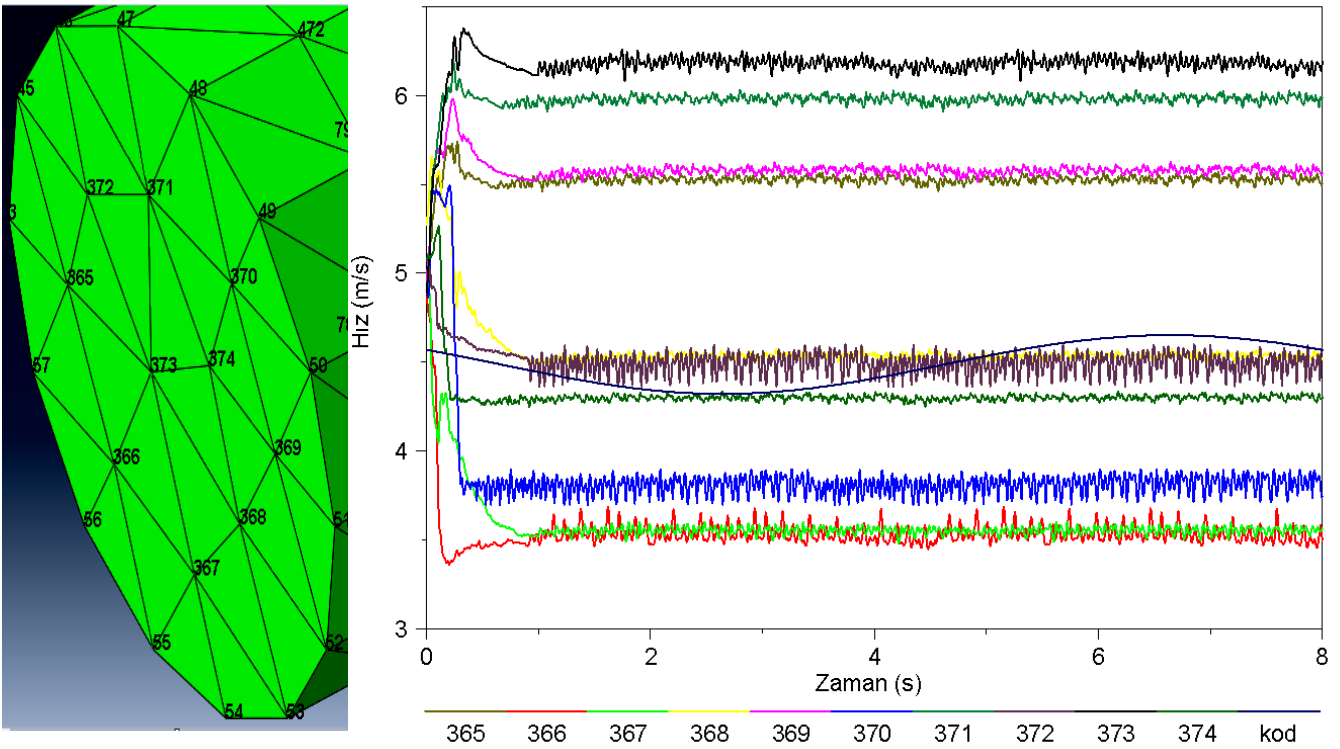


Şekil 3.4. Sabit kesitli difüzör No:1 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları

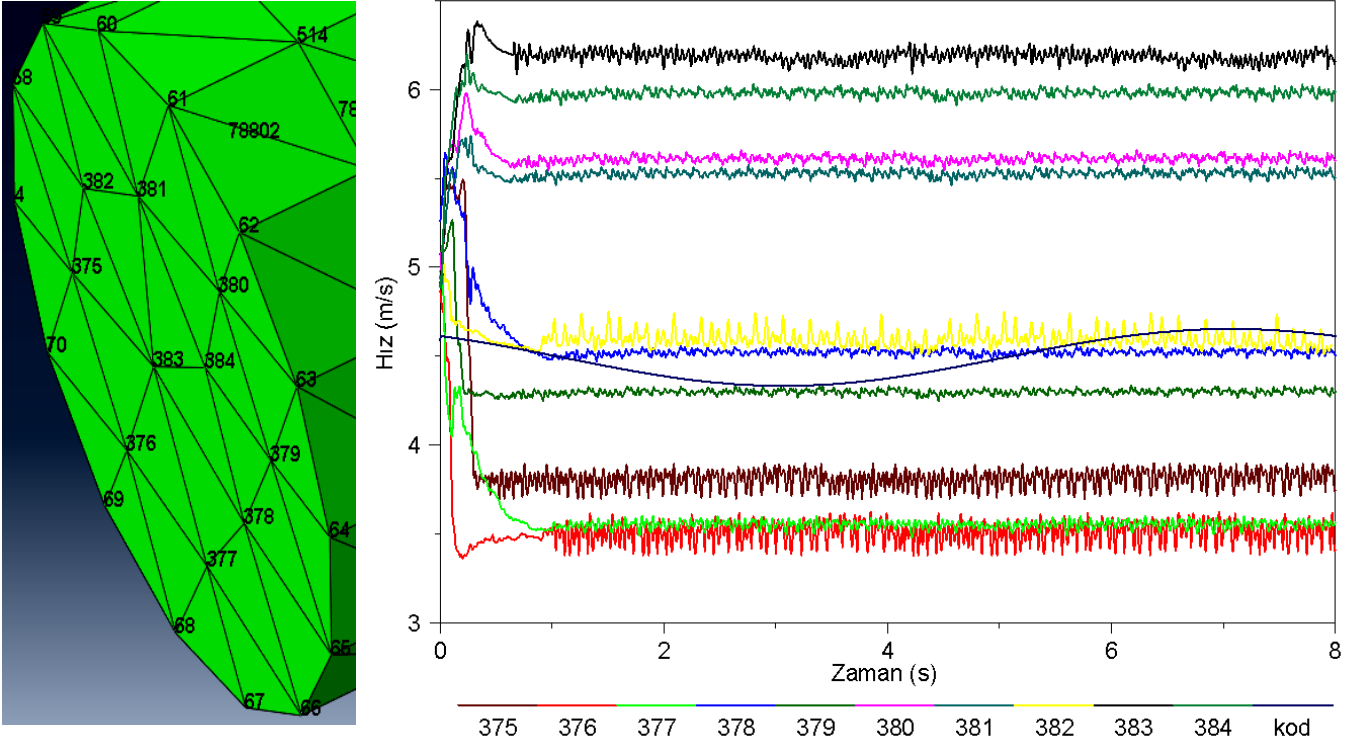
Kenar noktalarda hız sıfırdır, dolayısıyla sadece 1 düğümünün zamanla değişen hız değerleri verilmiştir. Grafikte sinüzoidal davranış gösteren çizgi HYRDODIF ile hesaplanan ortalama çıkış hızını ifade eder.



Şekil 3.5. Sabit kesitli difüzör No:2 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları

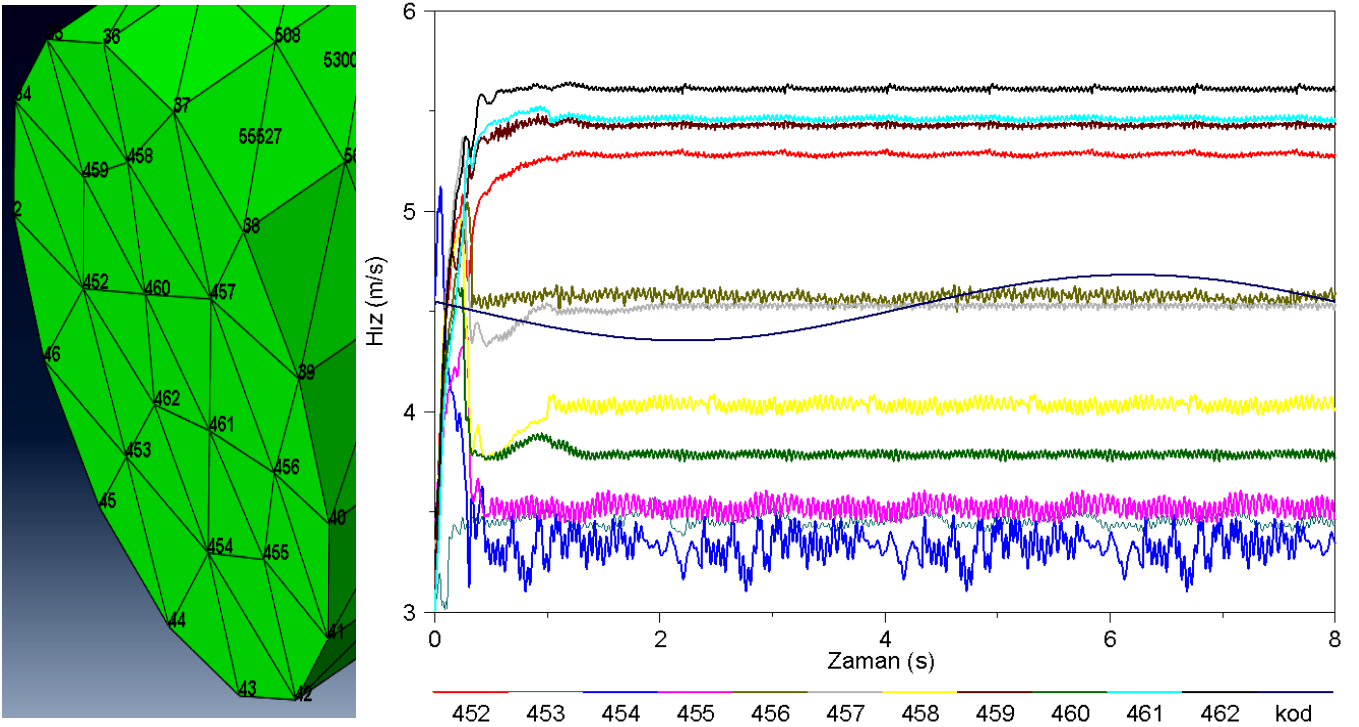


Şekil 3.6. Sabit kesitli difüzör No:3 çıkış düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları

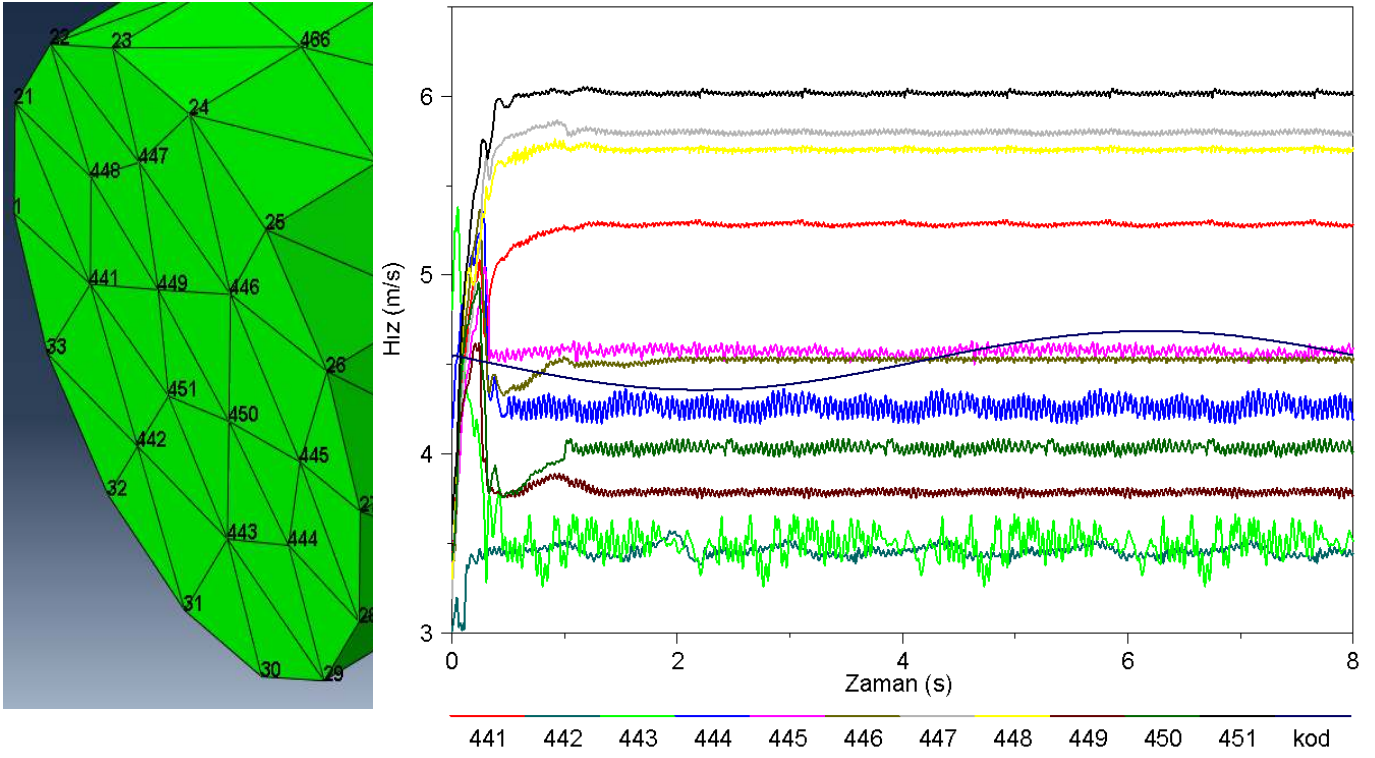


Şekil 3.7. Sabit kesitli difüzör No:4 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları

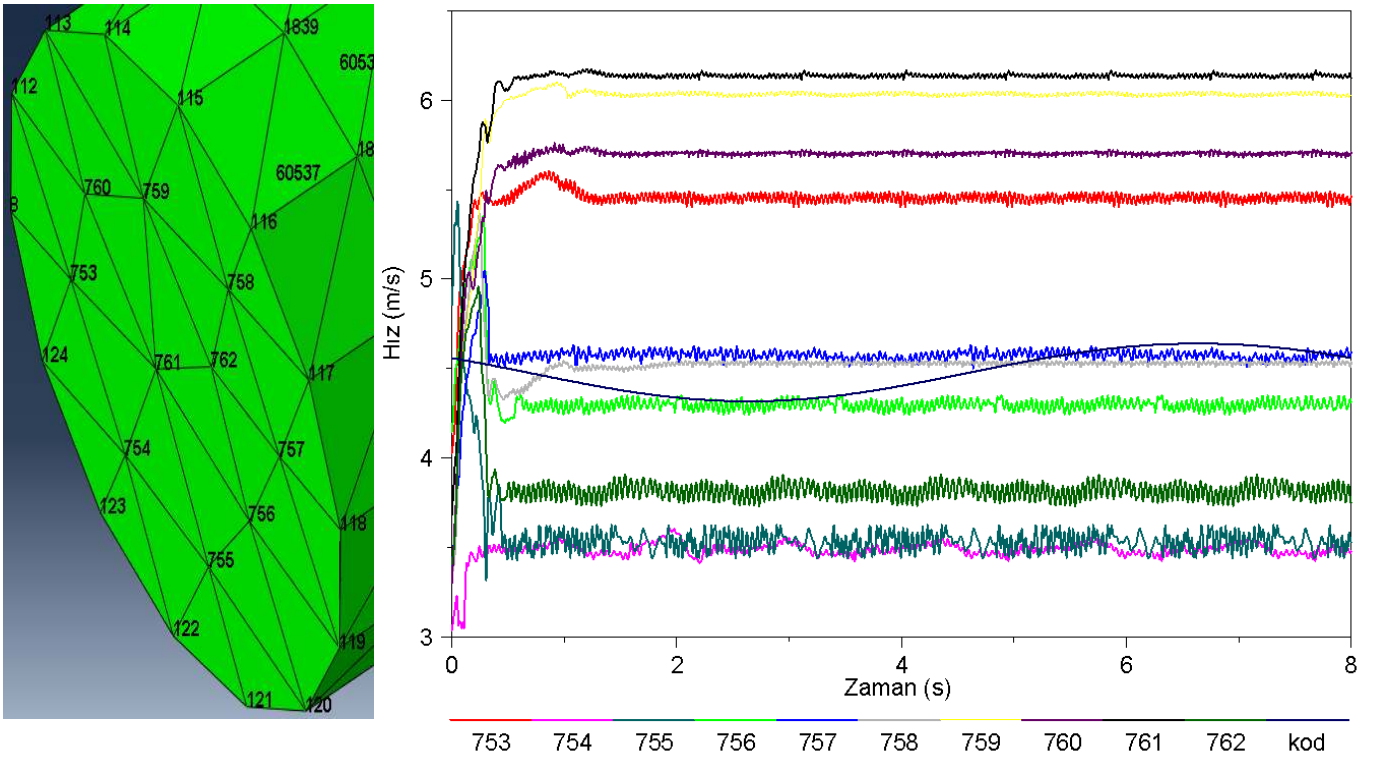
Kademeli daralan kesitli modele ait dört adet çıkış düğüm nokta numaraları ve bu düğüm noktalarındaki zamanla değişen hız değerleri birinci çıkıştan dördüncü çıkışa kadar sırayla aşağıda verilmiştir.



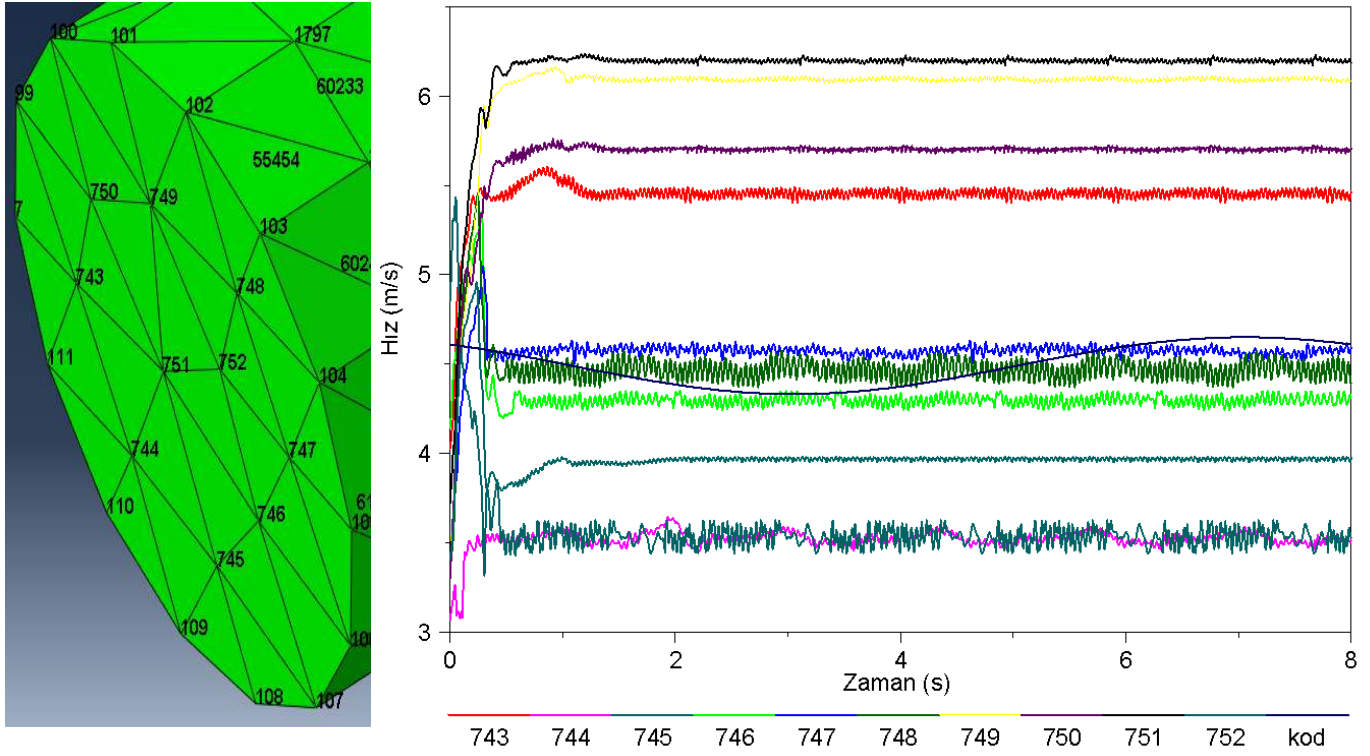
Şekil 3.8. Kademeli daralan kesitli difüzör No:1 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları



Şekil 3.9. Kademeli daralan kesitli difüzör No:2 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları

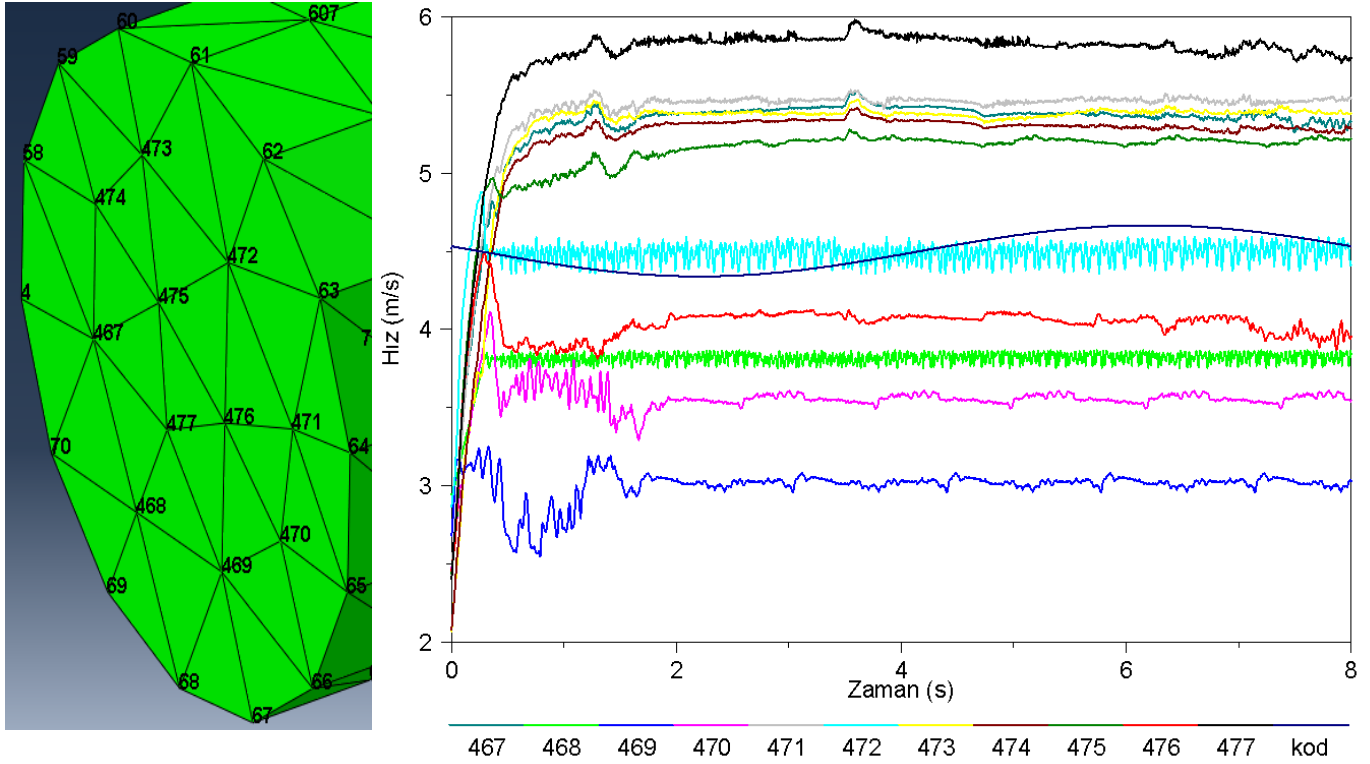


Şekil 3.10. Kademeli daralan kesitli difüzör No:3 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları

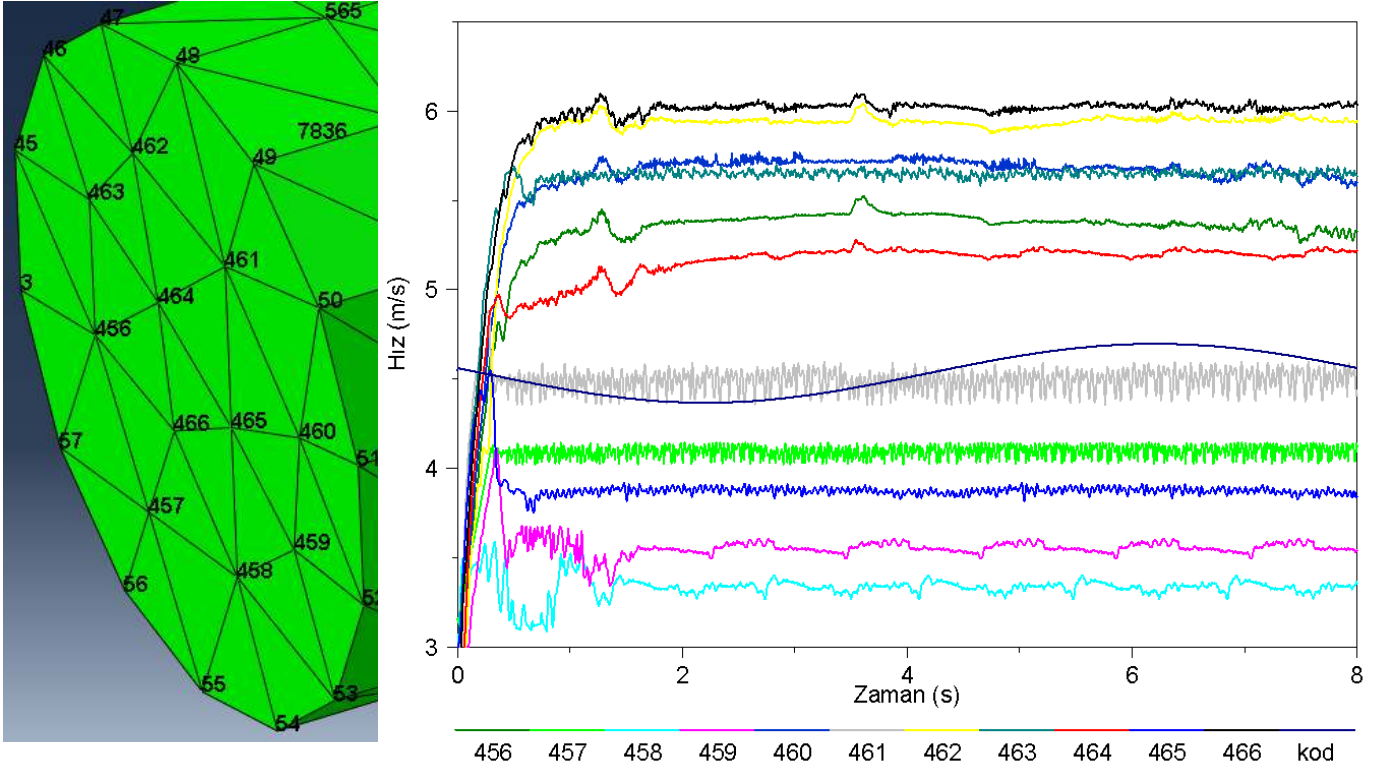


Şekil 3.11. Kademeli daralan kesitli difüzör No:4 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları

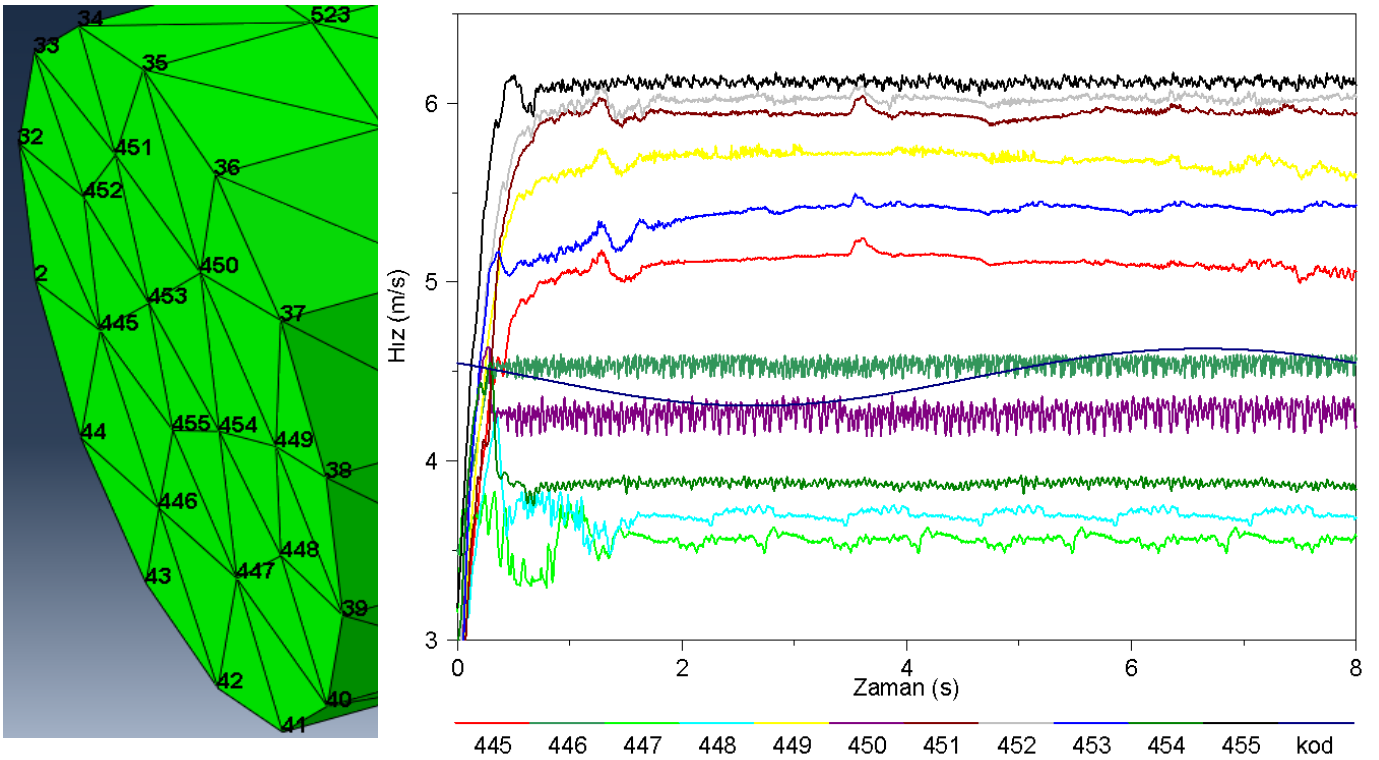
Tedrici daralan kesitli modele ait dört adet çıkış düğüm nokta numaraları ve bu düğüm noktalarındaki zamanla değişen hız değerleri birinci çıkıştan dördüncü çıkışa kadar sırayla aşağıda verilmiştir.



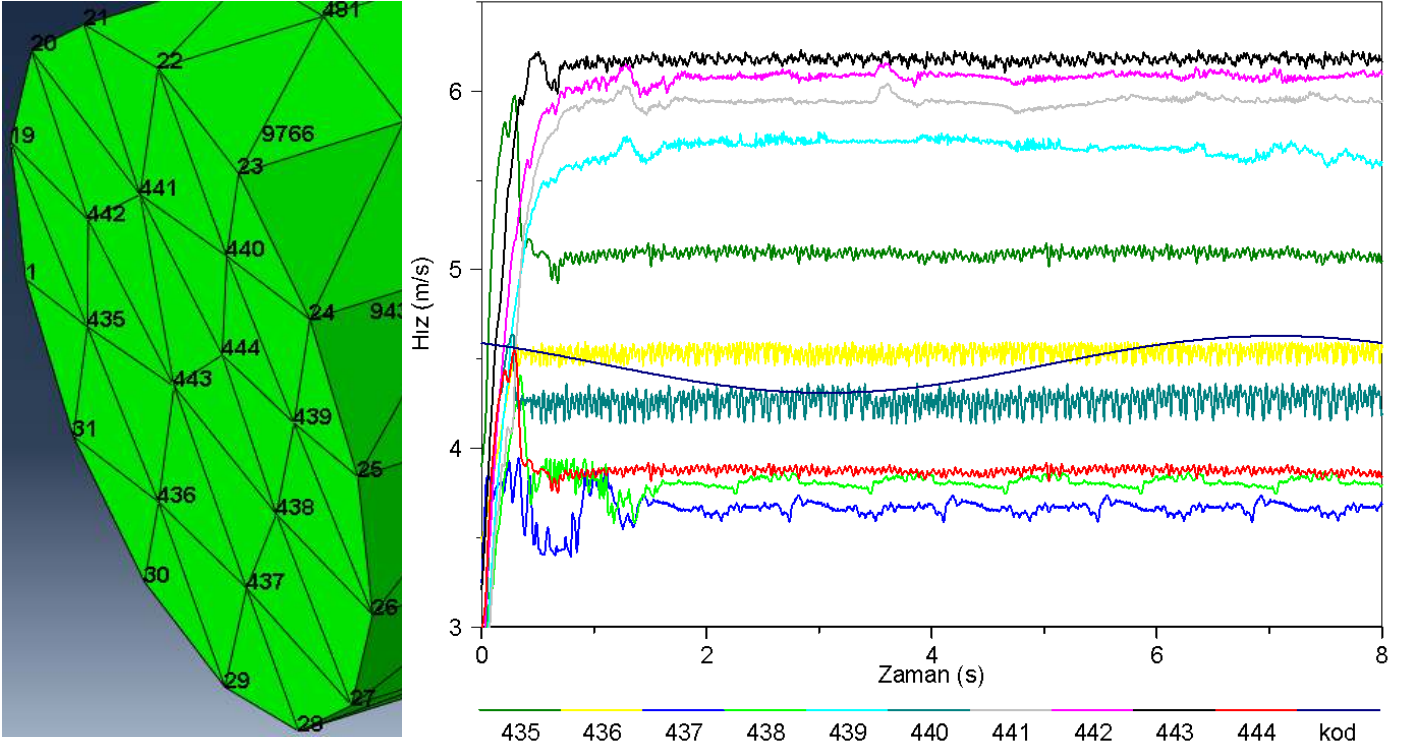
Şekil 3.12. Tedrici daralan kesitli difüzör No:1 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları



Şekil 3.13. Tedrici daralan kesitli difüzör No:2 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları



Şekil 3.14. Tedrici daralan kesitli difüzör No:3 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları



Şekil 3.15. Tedrici daralan kesitli difüzör No:4 çıkışı düğüm nokta numaraları ve noktasal hızları

Tüm çıkışlarda maksimum hız değeri orta noktadaki düğüm noktasında elde edilmiştir. Çıkış nokta numaraları sondan başa doğru numaralandırılmıştır. Sonda bulunan birinci çıkışa ait maksimum hız değeri beklenildiği gibi en düşük değerdir. Maksimum hız değerinin en yüksek olduğu çıkış dördüncü çıkıştır. Belirgin bir fark olmamakla beraber son çıkışa doğru hız değerleri azalmaktadır.

Bu çalışmada, çıkışlardaki hız değerleri nümerik çözümlemenin (ABAQUS) yanında analitik çözümleme (HYDRODIF) ile de elde edilmiştir. Nümerik olarak çıkışlardaki her bir noktadaki hız değerlerinin zamanla değişimi elde edilmiştir. Analitik çözülmeye ise çıkıştaki ortalama hızlar elde edilmiştir. Nümerik çözümleme ile karşılaştırma yapılabilmesi için ortalama hız,

$$\bar{V} = \frac{Q}{A} = \frac{1}{A} \int_A (V \cdot n) dA \quad (3.1)$$

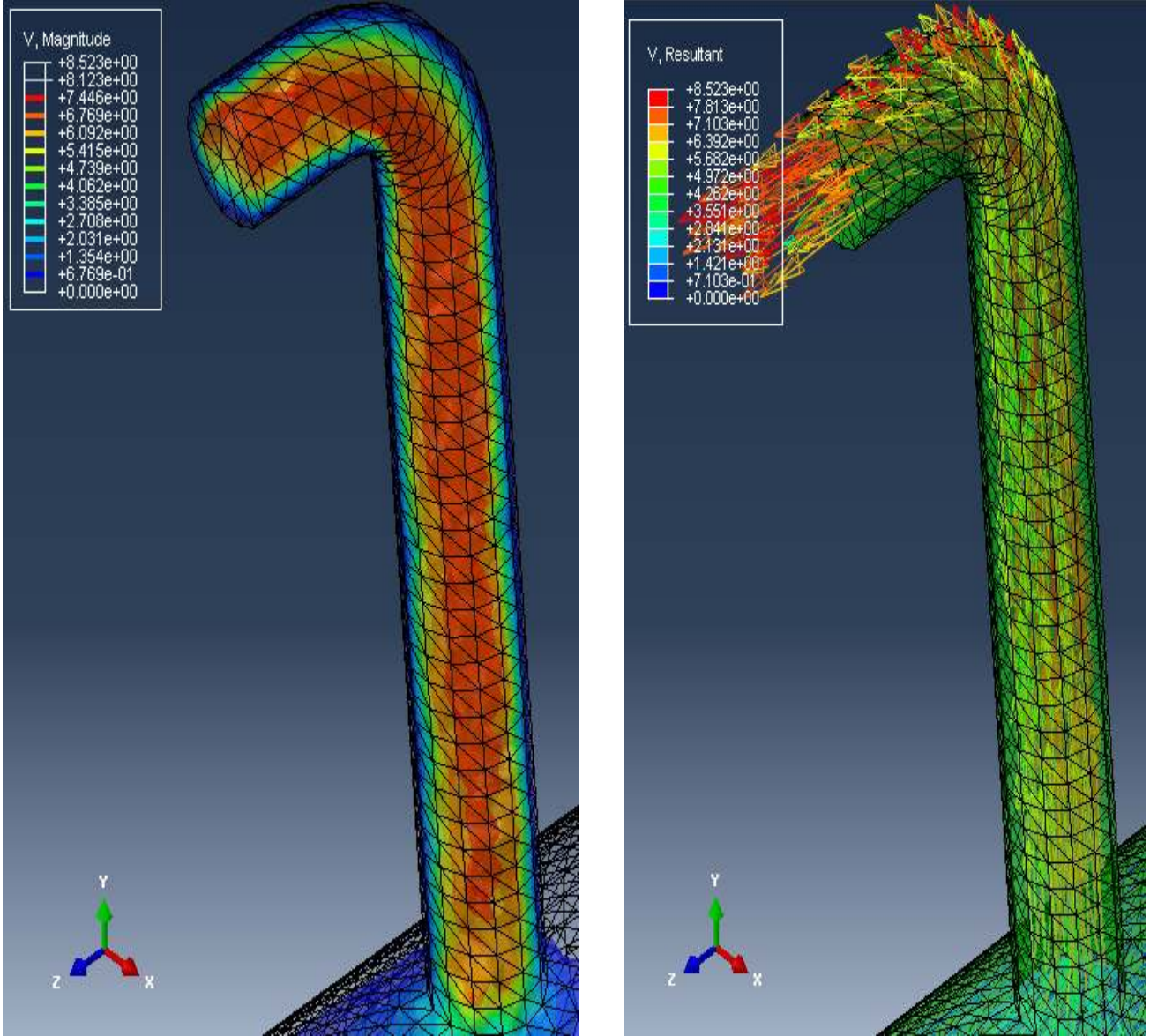
bağıntısı ile hesaplanabilir. Çıkış kesit alanı: 32 (sabit kesit), 33 (kademeli daralan kesit), 34 (tedrici daralan kesit) adet üçgen elemanlarla temsil edilmiştir. ABAQUS programı modellenirken ana boru kesit değişiminin mesh atmasına bağlı olarak çıkışlarda mesh sayısı etkilenmektedir. Her bir elemanın taban mesh alanı üzerinde üç köşe noktasından dik olarak yükselen hızların oluşturduğu hacim, bir üçgen mesh elemanın debisi olarak nitelendirildiğinde kesitteki meshlerin toplam hacimlerinin yani debilerinin bulunmasıyla çıkış kesitini temsil eden debi hesaplanmış olmaktadır.

Üç modelin son 20 m'lik kısmında yer alan 10 m'lik iki açıklıklı difüzörde dört adet çıkış bulunmaktadır. Bu çıkışlardan elde edilen hızlar; hem HYDRODIF hem de ABAQUS programlarıyla hesaplanmıştır. Çıkış hızları üç farklı modelde ve dört çıkışta Çizelge 3.5'de ki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 3.5. Difüzörlerin dalgalı ortam ortalama çıkış hızı değerleri

Çıkış	Sabit kesit çıkış hızı (m/s)		Kademeli daralan kesit çıkış hızı (m/s)		Tedrici daralan kesit çıkış hızı (m/s)	
	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS
1	4,53	4,55	4,51	4,52	4,52	4,53
2	4,55	4,56	4,53	4,54	4,54	4,55
3	4,56	4,57	4,56	4,58	4,55	4,58
4	4,59	4,60	4,61	4,62	4,59	4,60

Bu çizelge göstermektedir ki üç modelin her bir çıkışındaki hız değerleri HYDRODIF ve ABAQUS modellemesinden de aynı elde edilebilmiştir. Çıkış hız vektörleri ve akım çizgileri bir çıkışta detaylı olarak görüntülenebilir ve akışkan-boru karakteristik sayısal değerleri kesit içindeki ve boru cidarları üçgen elemanlardan belirlenebilir.

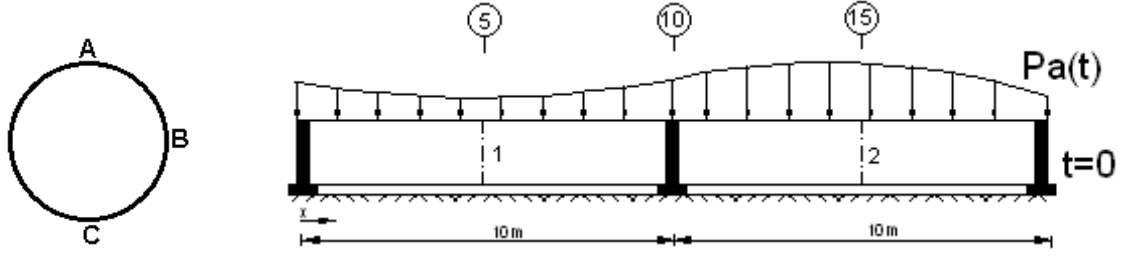


Şekil 3.16. Kanal çıkışında akış ortamına ilişkin düğümlerdeki hız vektörleri ve akım çizgileri

Görüntülerde sayısal veriler renkli olarak derecelendirildiği gibi sayısal olarak detaylı veriler de sağlanabilir. Akışkan ortamındaki basınç ve hızlar ile boru cidarlarındaki gerilme ve deformasyonlar belirlenebilir.

3.4. Difüzör Etrafındaki İç-Dış Basınç Dağılımı

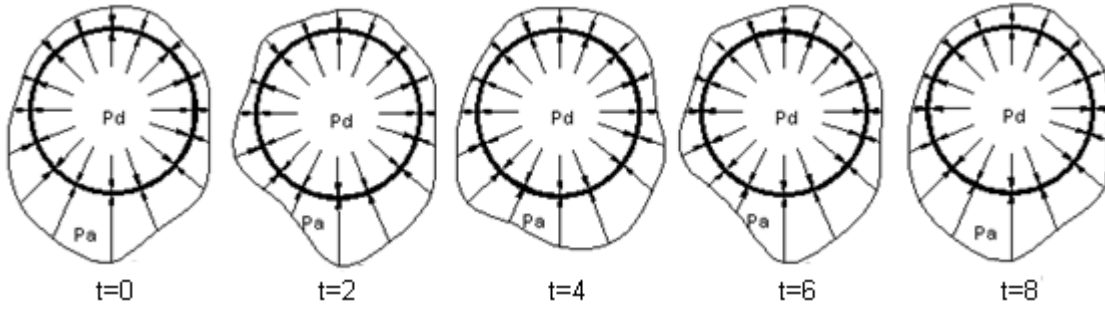
HYDRODIF yazılımıyla Denklem 2.17'den Lineer Dalga Teorisine dayalı derinlikle ve dalga parametreleriyle değişim gösteren difüzör etrafındaki dalga kökenli dış basınç ile iç basınç ve dalgalı ortamın tanımlanmasıyla da ABAQUS programından boru etrafında oluşan akım ile iç akış etkileşimi modellenmiştir. İç ve dış basınç değerleri boru boyunca çembersel yüzeyin her noktasında hesaplanabilmektedir. Bu çalışmadaki basınç hesaplamaları en kesitte; ilk ve ikinci açıklığın ortasındaki No:1 ve No:2 kesitlerine, boy kesitte ise; iki açıklıklı borulu sistemin en kesitte A noktasına aittir. Çizelgelerde B ve C noktalarına ilişkin iç ve dış basınçlarda yer almaktadır.



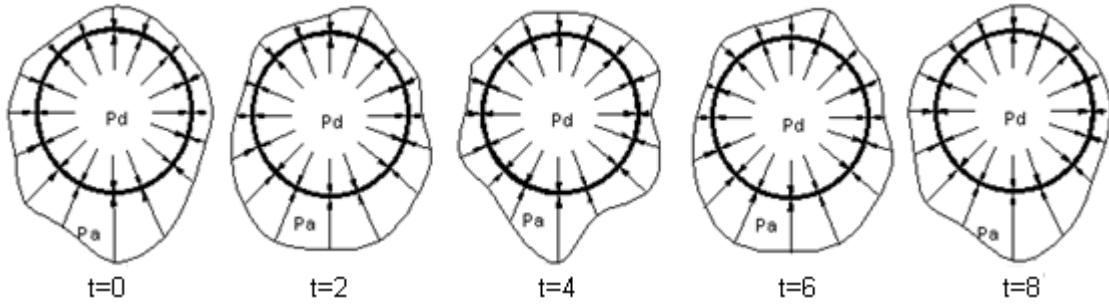
Şekil 3.17. Enkesitte A, B, C noktaları ile boykesitte No:1 ve No:2 kesitlerinin konumu

Gerek HYDRODIF gerekse ABAQUS ile bilinmektedir ki; borunun bütün cidarlardaki iç ve dış basınçlar hesaplanabilmektedir.

- (1) Enkesitte iç-dış basınç dağılımı; difüzör ana borusu No:1 kesitinde zamanla değişen iç ve dış basınç dağılımının 16 nokta esas alınarak gösterimi, sabit kesitli model için ve bir periyot ($T=8$ s) esas alınarak her iki saniyede Şekil 3.18 ve 3.19 ve sayısal olarak Çizelge 3.6 ve 3.7'de yer almaktadır.



Şekil 3.18. Sabit kesitli difüzör No:1 kesitindeki zamanla değişen iç-dış basınç dağılımı



Şekil 3.19. Sabit kesitli difüzör No:2 kesitindeki zamanla değişen iç-dış basınç dağılımı

Çizelge 3.6. Sabit kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen iç-dış basınç

t (s)	A noktası				B noktası				C noktası			
	P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)		P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)		P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)	
	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS
0	209400	219870	198250	208162	209400	219870	198350	208262	209400	219870	198640	208572
2	207150	217865	196100	207868	207150	217865	196150	207990	207150	217865	196300	207868
4	200100	206103	189000	204120	200100	206103	189100	204340	200100	206103	189250	204520
6	202000	212100	191250	205100	202000	212100	191350	205220	202000	212100	191440	205380
8	209300	220858	198250	209052	209300	220858	198350	209152	209300	220858	198420	209345

Çizelge 3.7. Sabit kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen iç-dış basınç

t (s)	A noktası				B noktası				C noktası			
	P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)		P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)		P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)	
	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS
0	209400	219870	198250	208162	209400	219870	198350	208262	209400	219870	198640	208572
2	207150	217865	196100	207868	207150	217865	196150	207990	207150	217865	196300	207868
4	200100	206103	189000	204120	200100	206103	189100	204340	200100	206103	189250	204520
6	202000	212100	191250	205100	202000	212100	191350	205220	202000	212100	191440	205380
8	209300	220858	198250	209052	209300	220858	198350	209152	209300	220858	198420	209345

Kademeli ve tedrici daralan kesitli difüzör ana borusunda da sabit kesitlide hesaplanan iç ve dış basınçlar hem en kesitte hem de borulu sistem boyunca bütün noktalarda hesaplanmıştır. En kesitte Şekil 3.18 ve 3.19 dekine benzer basınç dağılımları kademeli ve tedrici daralan difüzörlerde bilinmesine karşın burada No:1 ve No:2 kesitlerindeki A, B ve C noktalarında sadece çizelge halinde sunulmuştur.

Çizelge 3.8. Kademeli daralan kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen iç-dış basınç

t (s)	A noktası				B noktası				C noktası			
	P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)		P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)		P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)	
	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS
0	209400	219870	198350	208262	209400	219870	198250	208162	209400	219870	198640	208572
2	207150	217865	196150	207990	207150	217865	196100	207868	207150	217865	196300	207868
4	200100	206103	189100	204340	200100	206103	189000	204120	200100	206103	189250	204520
6	202000	212100	191350	205220	202000	212100	191250	205100	202000	212100	191440	205380
8	209300	220858	198350	209152	209300	220858	198250	209052	209300	220858	198420	209345

Çizelge 3.9. Kademeli daralan kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen iç-dış basınç

t (s)	A noktası				B noktası				C noktası			
	P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)		P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)		P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)	
	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS
0	209210	219100	199150	208542	209210	219100	199220	208542	209210	219100	199321	208122
2	207001	217312	196800	208108	207001	217312	196910	208108	207001	217312	197110	208146
4	200013	205963	190500	204120	200013	205963	190591	204120	200013	205963	190980	204197
6	202000	211800	191850	205690	202000	211800	191910	205690	202000	211800	192110	205710
8	209300	219995	199750	209561	209300	219995	200013	209561	209300	219995	201001	209977

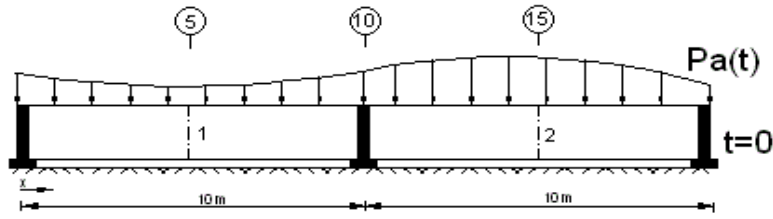
Çizelge 3.10. Tedrici daralan kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen iç-dış basınç

t (s)	A noktası				B noktası				C noktası			
	P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)		P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)		P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)	
	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS
0	209300	219120	198310	208179	209300	219120	198379	208199	209300	219120	198559	208512
2	207100	217325	196198	207881	207100	217325	196203	207902	207100	217325	196256	208009
4	200056	206793	189079	204179	200056	206793	189098	204201	200056	206793	189123	204297
6	201989	212021	191311	205176	201989	212021	191346	205189	201989	212021	191376	205202
8	209300	220468	198412	209097	209300	220468	198472	209102	209300	220468	198512	209197

Çizelge 3.11. Tedrici daralan kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen iç-dış basınç

t (s)	A noktası				B noktası				C noktası			
	P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)		P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)		P_d (N/m ²)		P_a (N/m ²)	
	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS	HYDRODIF	ABAQUS
0	209210	219040	199100	208542	209210	219040	199197	208598	209210	219040	199203	208615
2	207001	217054	196700	208108	207001	217054	196723	208179	207001	217054	196776	208234
4	200013	206711	190102	204220	200013	206711	190156	204286	200013	206711	190198	204342
6	202000	212002	191650	205690	202000	212002	191691	205710	202000	212002	191721	205952
8	209300	220389	199750	209561	209300	220389	199798	209589	209300	220389	199813	209634

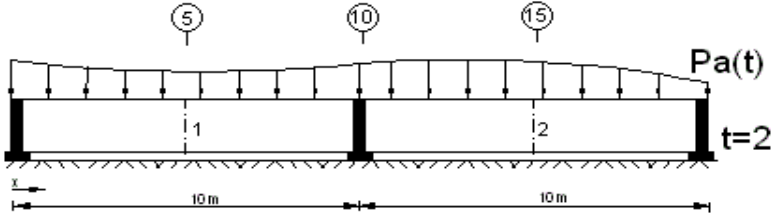
- (1) Boy kesitte zamanla değişen dış basınç dağılımı; Üç modelde de boru boyunca ve en kesiti çevreleyen tüm iç ve dış basınçlar hesaplanmıştır. Gösterim olarak, Şekil 1'de A noktasındaki zamanla değişen dış basınç bir periyot süresince 2 s aralıklarla giriş sistemi üzerinde belirtilmiştir. Şekillerde ve çizelgelerde ifade edilen dış basınç A noktasına ait olmakla birlikte HYDRODIF ve ABAQUS ile sonuçlanan değerleri de ifade etmektedir. (Şekil 3.20-3.34 ve Çizelge 3.12-3.26)



Konum (m)		0	5	10	15	20
Dış Basıncı 10^5 N/m^2	ABAQUS	1,87	1,80	1,90	2,07	1,85
	HYDRODIF	1,86	1,78	1,89	2,55	1,84

Şekil 3.20. Sabit kesit t=0s dış basıncın konumla değişimi

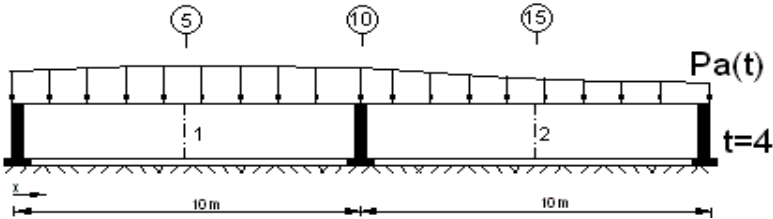
Çizelge 3.12. Sabit kesit t=0s dış basıncın konumla değişimi



Konum (m)		0	5	10	15	20
Dış Basıncı 10^5 N/m^2	ABAQUS	1,87	1,83	1,91	2,06	1,81
	HYDRODIF	1,84	1,82	1,89	2,04	1,79

Şekil 3.21. Sabit kesit t=2s dış basıncın konumla değişimi

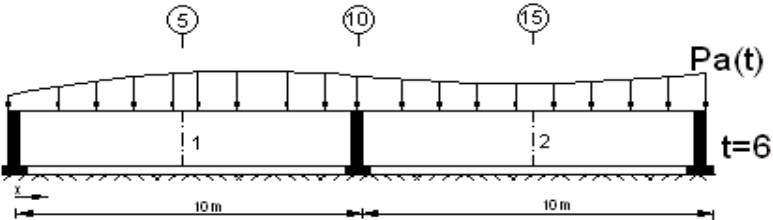
Çizelge 3.13. Sabit kesit t=2s dış basıncın konumla değişimi



Konum (m)		0	5	10	15	20
Dış Basıncı 10^5 N/m^2	ABAQUS	1,87	1,95	1,91	1,85	1,84
	HYDRODIF	1,85	1,93	1,89	1,84	1,82

Şekil 3.22. Sabit kesit t=4s dış basıncın konumla değişimi

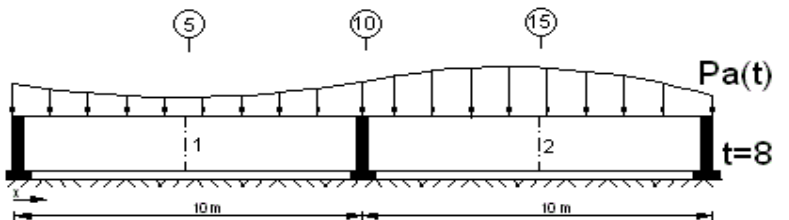
Çizelge 3.14. Sabit kesit t=4s dış basıncın konumla değişimi



Konum (m)		0	5	10	15	20
Dış Basıncı 10^5 N/m^2	ABAQUS	1,83	1,90	1,89	1,85	1,91
	HYDRODIF	1,82	1,89	1,89	1,84	1,89

Şekil 3.23. Sabit kesit t=6s dış basıncın konumla değişimi

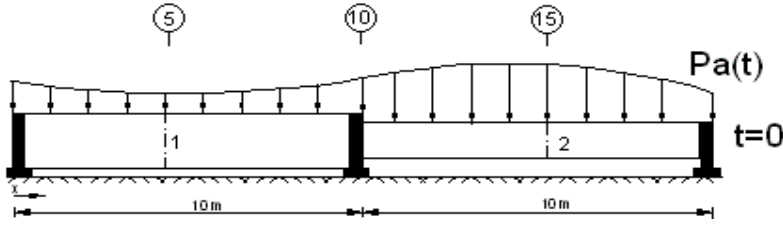
Çizelge 3.15. Sabit kesit t=6s dış basıncın konumla değişimi



Konum (m)		0	5	10	15	20
Dış Basıncı 10^5 N/m^2	ABAQUS	1,87	1,80	1,88	2,05	1,84
	HYDRODIF	1,85	1,79	1,86	2,03	1,82

Şekil 3.24. Sabit kesit t=8s dış basıncın konumla değişimi

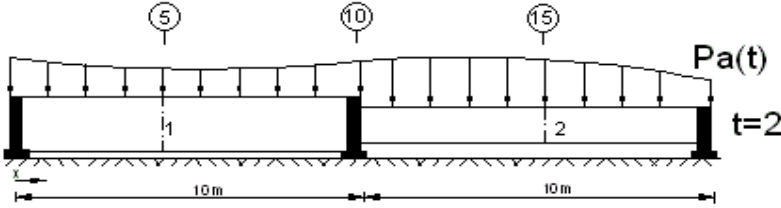
Çizelge 3.16. Sabit kesit t=8s dış basıncın konumla değişimi



Şekil 3.25. Kademeli daralan kesit t=0s dış basıncın konumla değişimi

Konum (m)		0	5	10	15	20
Dış Basıncı 10^5 N/m^2	ABAQUS	1,87	1,80	1,90	2,07	1,87
	HYDRODIF	1,86	1,78	1,89	1,75	1,85

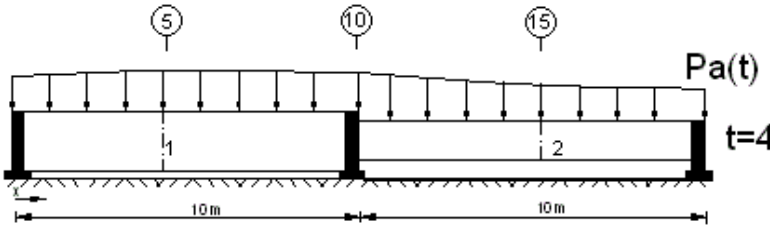
Çizelge 3.17. Kademeli daralan kesit t=0s dış basıncın konumla değişimi



Şekil 3.26. Kademeli daralan kesit t=2s dış basıncın konumla değişimi

Konum (m)		0	5	10	15	20
Dış Basıncı 10^5 N/m^2	ABAQUS	1,87	1,83	1,91	2,07	1,83
	HYDRODIF	1,84	1,82	1,89	2,03	1,81

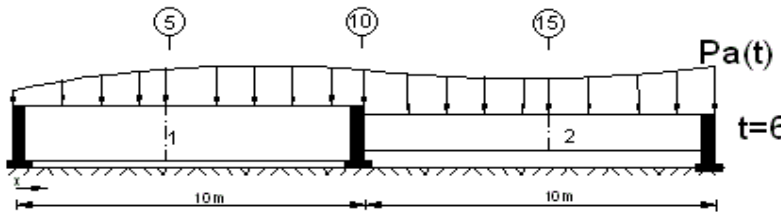
Çizelge 3.18. Kademeli daralan kesit t=2s dış basıncın konumla değişimi



Şekil 3.27. Kademeli daralan kesit t=4s dış basıncın konumla değişimi

Konum (m)		0	5	10	15	20
Dış Basıncı 10^5 N/m^2	ABAQUS	1,87	1,95	1,91	1,87	1,86
	HYDRODIF	1,85	1,93	1,89	1,85	1,84

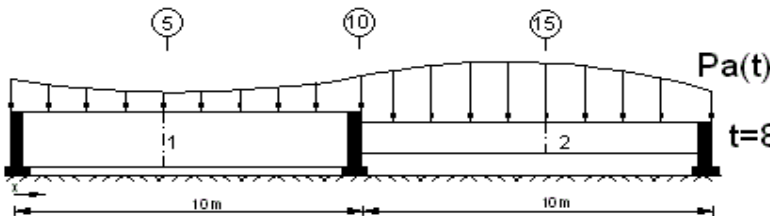
Çizelge 3.19. Kademeli daralan kesit t=4s dış basıncın konumla değişimi



Şekil 3.28. Kademeli daralan kesit t=6s dış basıncın konumla değişimi

Konum (m)		0	5	10	15	20
Dış Basıncı 10^5 N/m^2	ABAQUS	1,83	1,90	1,89	1,86	1,93
	HYDRODIF	1,82	1,89	1,89	1,85	1,91

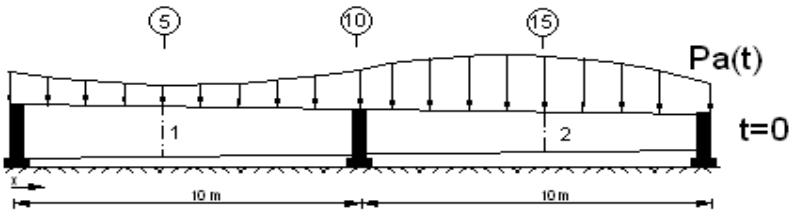
Çizelge 3.20. Kademeli daralan kesit t=6s dış basıncın konumla değişimi



Şekil 3.29. Kademeli daralan kesit t=8s dış basıncın konumla değişimi

Konum (m)		0	5	10	15	20
Dış Basıncı 10^5 N/m^2	ABAQUS	1,87	1,80	1,88	2,06	1,86
	HYDRODIF	1,85	1,79	1,86	2,05	1,84

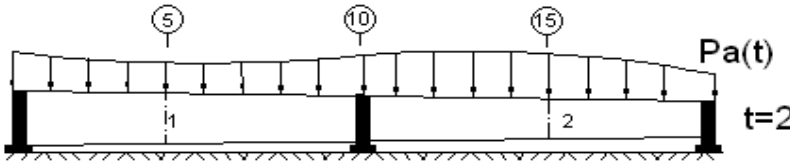
Çizelge 3.21. Kademeli daralan kesit t=8s dış basıncın konumla değişimi



Konum (m)		0	5	10	15	20
Dış Basıncı 10^5 N/m^2	ABAQUS	1,87	1,80	1,90	2,06	1,87
	HYDRODIF	1,86	1,78	1,89	1,74	1,85

Şekil 3.30. Tedrici daralan kesit t=0s dış basıncın konumla değişimi

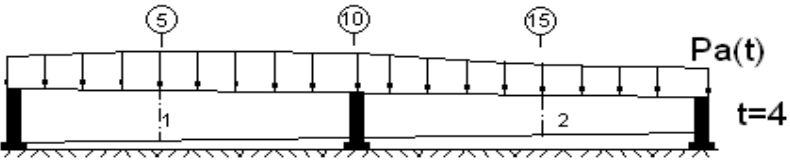
Çizelge 3.22. Tedrici daralan kesit t=0s dış basıncın konumla değişimi



Konum (m)		0	5	10	15	20
Dış Basıncı 10^5 N/m^2	ABAQUS	1,87	1,83	1,91	2,06	1,83
	HYDRODIF	1,84	1,82	1,89	2,04	1,81

Şekil 3.31. Tedrici daralan kesit t=2s dış basıncın konumla değişimi

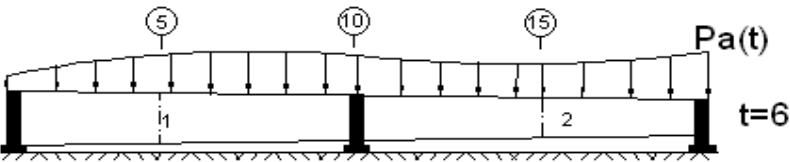
Çizelge 3.23. Tedrici daralan kesit t=2s dış basıncın konumla değişimi



Konum (m)		0	5	10	15	20
Dış Basıncı 10^5 N/m^2	ABAQUS	1,87	1,95	1,91	1,86	1,85
	HYDRODIF	1,85	1,93	1,89	1,85	1,83

Şekil 3.32. Tedrici daralan kesit t=4s dış basıncın konumla değişimi

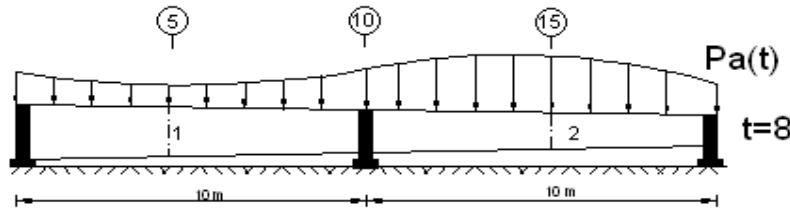
Çizelge 3.24. Tedrici daralan kesit t=4s dış basıncın konumla değişimi



Konum (m)		0	5	10	15	20
Dış Basıncı 10^5 N/m^2	ABAQUS	1,83	1,90	1,89	1,85	1,92
	HYDRODIF	1,82	1,89	1,89	1,84	1,91

Şekil 3.33. Tedrici daralan kesit t=6s dış basıncın konumla değişimi

Çizelge 3.25. Tedrici daralan kesit t=6s dış basıncın konumla değişimi



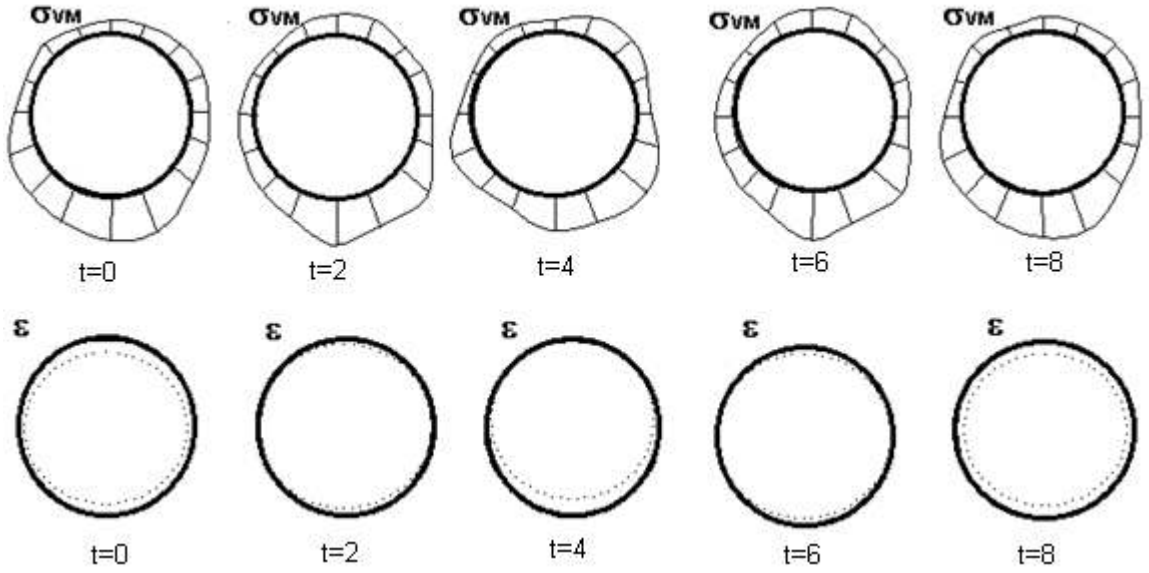
Konum (m)		0	5	10	15	20
Dış Basıncı 10^5 N/m^2	ABAQUS	1,87	1,80	1,88	2,05	1,85
	HYDRODIF	1,85	1,79	1,86	2,04	1,83

Şekil 3.34. Tedrici daralan kesit t=8s dış basıncın konumla değişimi

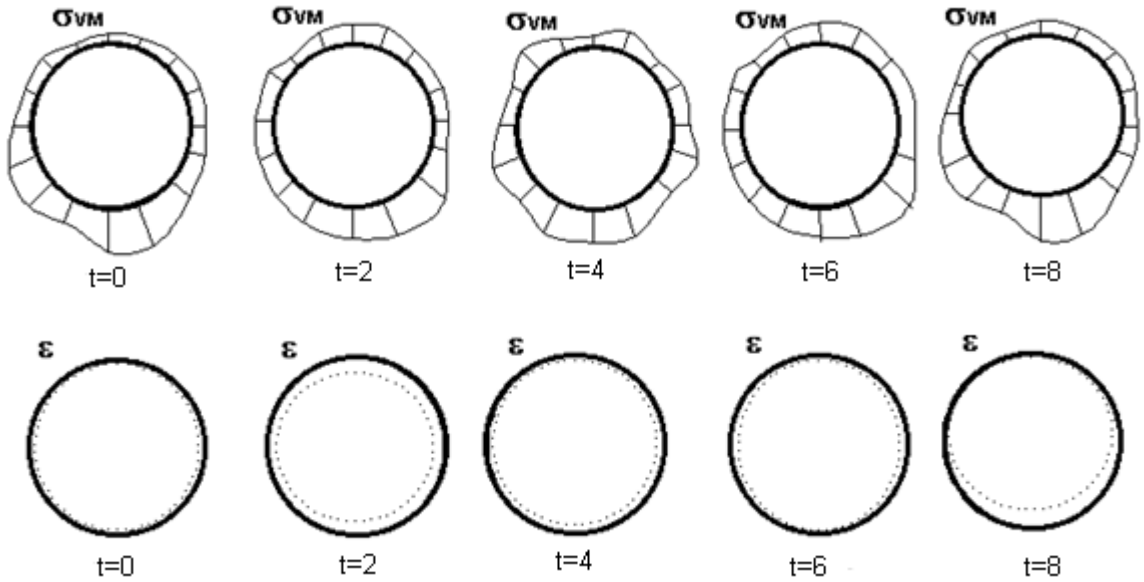
Çizelge 3.26. Tedrici daralan kesit t=8s dış basıncın konumla değişimi

3.5. Difüzörün Gerilme Dağılımı ve Deplasman Değerleri

- (1) En kesitte gerilme-deformasyon dağılımı; difüzör ana borusu No:1,2 kesitlerinde zamanla değişen iç ve dış basınç dağılımının 16 nokta esas alınarak gösterimi, sabit kesitli model için ve bir periyot ($T=8$ s) esas alınarak her iki saniyede Şekil 3.35 ve 3.36'da verilmiştir.



Şekil 3.35. Sabit kesitli difüzör No:1 kesitindeki zamanla değişen gerilmelerin ve deformasyonların dağılımı



Şekil 3.36. Sabit kesitli difüzör No:2 kesitindeki zamanla değişen gerilmelerin ve deformasyonların dağılımı

Çizelge 3.27. Sabit kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen Von Mises Gerilme değerleri

t (s)	A noktası		B noktası		C noktası	
	$\sigma_{VM} \times 10^5$ (N/m ²)		$\sigma_{VM} \times 10^5$ (N/m ²)		$\sigma_{VM} \times 10^5$ (N/m ²)	
	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS
0	9,00	9,99	9,16	10,09	9,55	10,25
2	10,50	11,21	10,76	11,38	10,98	11,56
4	9,75	10,21	9,89	10,46	10,54	10,98
6	8,05	8,52	8,34	8,78	8,99	9,11
8	9,15	9,99	9,45	10,05	9,79	10,25

No:1 kesitteki gerilmelerin bileşenleri ve Von Mises Gerilmeleri Çizelge 3.28'de görülmektedir. Benzer gerilme ve deformasyon bileşenleri diğer çıkışlar (No:2, No:3 ve No:4) için de hesaplanmış olunmasına rağmen çizelgelerle sunulmamıştır.

Çizelge 3.28. Sabit kesitli difüzör üzerindeki No:1 kesiti A noktası gerilme bileşenleri ve Von Mises Gerilmeleri

t (s)	$\sigma_{11} \times 10^5$ (N/m ²)		$\sigma_{22} \times 10^5$ (N/m ²)		$\sigma_{33} \times 10^5$ (N/m ²)		$\sigma_{VM} \times 10^5$ (N/m ²)	
	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS
0	4,94	7,96	6,04	9,08	4,46	7,19	9,00	9,99
2	5,11	6,04	7,69	8,88	3,72	5,45	10,50	11,21
4	5,35	6,38	6,10	8,15	4,83	5,95	9,75	10,21
6	5,13	6,76	5,85	7,57	4,64	5,21	8,05	8,52
8	5,02	8,29	5,72	9,45	4,53	7,49	9,15	9,99

Çizelge 3.29. Sabit kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen Von Mises Gerilme değerleri

t (s)	A noktası		B noktası		C noktası	
	$\sigma_{VM} \times 10^5$ (N/m ²)		$\sigma_{VM} \times 10^5$ (N/m ²)		$\sigma_{VM} \times 10^5$ (N/m ²)	
	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS
0	9,03	9,89	9,19	10,21	9,62	10,25
2	10,55	11,27	10,82	11,44	11,02	11,76
4	9,81	10,25	9,95	10,61	10,67	10,98
6	8,12	8,60	8,46	8,82	9,07	9,32
8	9,19	9,89	9,62	10,19	9,95	10,38

Çizelge 3.30. Kademeli daralan kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen Von Mises Gerilme değerleri

t (s)	A noktası		B noktası		C noktası	
	$\sigma_{VM} \times 10^5$ (N/m ²)		$\sigma_{VM} \times 10^5$ (N/m ²)		$\sigma_{VM} \times 10^5$ (N/m ²)	
	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS
0	13,89	14,6	14,01	14,72	14,42	14,91
2	10,95	11,5	11,21	11,78	11,53	11,89
4	9,10	9,75	9,25	10,05	9,46	10,16
6	10,12	10,53	10,43	10,75	10,76	10,93
8	14,78	15,12	14,97	15,23	15,02	15,46

Çizelge 3.31. Kademeli daralan kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen Von Mises Gerilme değerleri

t (s)	A noktası		B noktası		C noktası	
	$\sigma_{VM} \times 10^5 \text{ (N/m}^2\text{)}$		$\sigma_{VM} \times 10^5 \text{ (N/m}^2\text{)}$		$\sigma_{VM} \times 10^5 \text{ (N/m}^2\text{)}$	
	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS
0	14,01	14,79	14,23	14,86	14,54	15,03
2	11,03	11,86	11,42	11,98	11,61	12,03
4	9,21	9,99	9,35	10,24	9,59	10,26
6	10,21	10,89	10,56	10,88	10,87	11,12
8	14,96	15,46	15,04	15,57	15,31	15,68

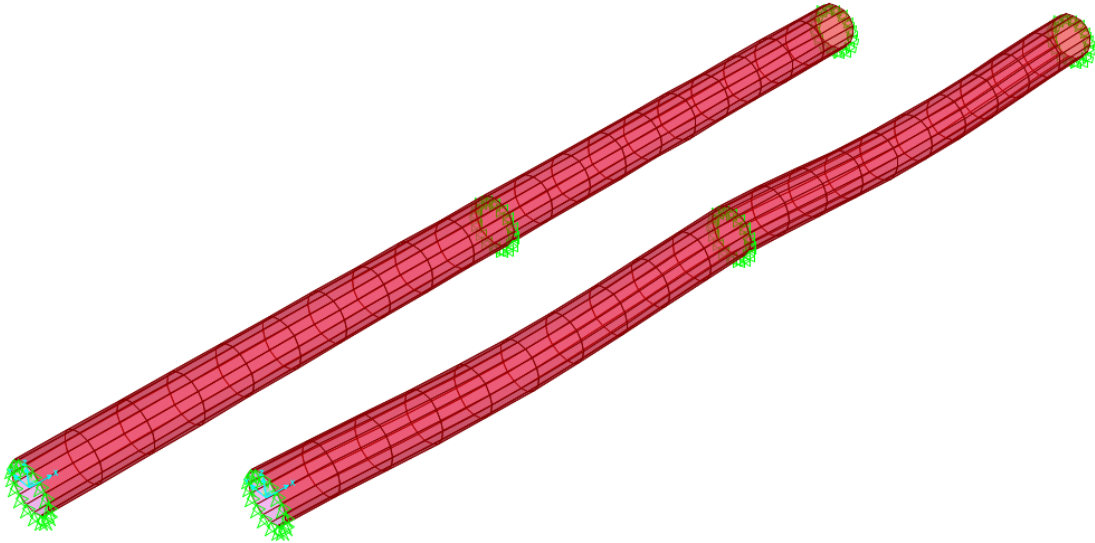
Çizelge 3.32. Tedrici daralan kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen Von Mises Gerilme değerleri

t (s)	A noktası		B noktası		C noktası	
	$\sigma_{VM} \times 10^5 \text{ (N/m}^2\text{)}$		$\sigma_{VM} \times 10^5 \text{ (N/m}^2\text{)}$		$\sigma_{VM} \times 10^5 \text{ (N/m}^2\text{)}$	
	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS
0	9,87	10,23	10,01	10,76	10,34	10,99
2	15,02	15,24	15,32	15,86	15,79	16,16
4	15,49	16,01	15,89	16,78	16,45	17,01
6	8,02	8,13	8,46	8,67	8,98	9,46
8	9,03	9,20	9,76	9,39	10,24	10,86

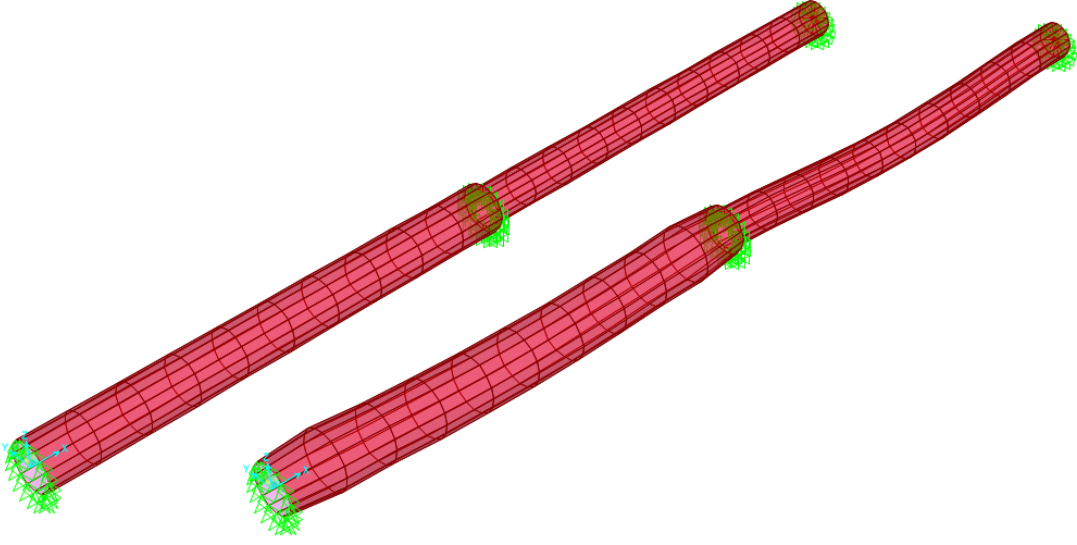
Çizelge 3.33. Tedrici daralan kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen Von Mises Gerilme değerleri

t (s)	A noktası		B noktası		C noktası	
	$\sigma_{VM} \times 10^5 \text{ (N/m}^2\text{)}$		$\sigma_{VM} \times 10^5 \text{ (N/m}^2\text{)}$		$\sigma_{VM} \times 10^5 \text{ (N/m}^2\text{)}$	
	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS
0	9,93	10,52	10,17	10,92	10,54	11,23
2	15,13	15,63	15,41	15,99	15,89	16,24
4	15,56	16,21	15,96	16,87	16,76	17,23
6	8,24	8,19	8,54	8,92	9,23	9,59
8	9,17	9,29	9,91	9,54	10,42	11,13

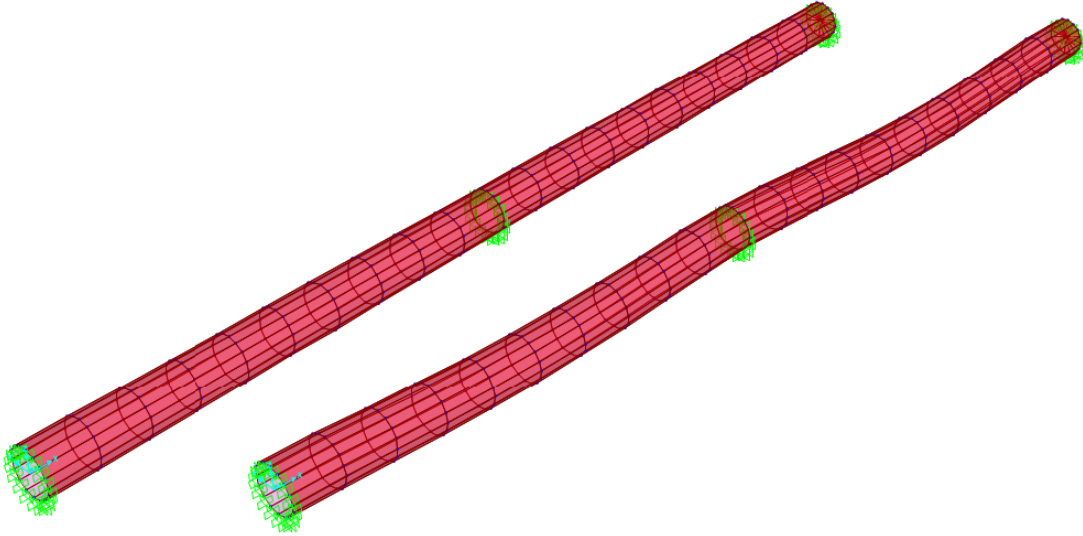
SAP2000 programıyla çözümlenen modeller Şekil 3.37-3.39'da görülmektedir. Açıklık ortalarındaki deplasman üç boyutlu gösterim ile ortaya konulmaktadır.



Şekil 3.37. Sabit kesitli difüzör deplasman yapmamış ve yapmış SAP 2000 Modelleri



Şekil 3.38. Kademeli daralan kesitli difüzör deplasman yapmamış ve yapmış SAP 2000 Modelleri



Şekil 3.39. Tedrici daralan kesitli difüzör deplasman yapmamış ve yapmış SAP 2000 Modelleri

Deplasman büyüklüğünün açıklığın 500 de birinden küçük olduğu ön boyutlandırmada ifade edilmiştir. Deplasman değerlerinin sınır değerlerin altında kaldığı belirlenmiştir. Tüm modellerde maksimum deplasman değerinin açıklık ortalarında ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Çizelge 3.34. Sabit kesitli difüzör üzerindeki No:1 kesiti deplasman ve bileşenleri

t (s)	$\delta_{xx} \times 10^{-6}$ (m)		$\delta_{yy} \times 10^{-4}$ (m)		$\delta_{zz} \times 10^{-6}$ (m)		$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)	
	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS
0	9,22	9,34	1,22	1,24	3,17	3,22	4,35	4,41
2	8,94	9,07	1,19	1,20	3,08	3,12	4,22	4,28
4	8,67	8,79	1,15	1,17	2,98	3,03	4,09	4,15
6	8,79	8,92	1,17	1,18	3,03	3,07	4,15	4,21
8	9,30	9,34	1,23	1,24	3,20	3,22	4,39	4,41

Çizelge 3.35. Sabit kesitli difüzör deplasman konumla değişimi

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\delta_{yy} \times 10^{-4}$	0	0,45	0,59	0,89	1,02	1,23	0,98	0,65	0,55	0,44	0

Çizelge 3.36. Sabit kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen bileşke deplasman değerleri

t (s)	A noktası		B noktası		C noktası	
	$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)		$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)		$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)	
	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS
0	4,35	4,41	4,39	4,48	4,45	4,53
2	4,22	4,28	4,28	4,34	4,34	4,39
4	4,09	4,15	4,19	4,22	4,27	4,28
6	4,15	4,21	4,22	4,27	4,31	4,33
8	4,39	4,41	4,43	4,48	4,45	4,53

Çizelge 3.37. Sabit kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen bileşke deplasman değerleri

t (s)	A noktası		B noktası		C noktası	
	$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)		$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)		$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)	
	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS
0	4,35	4,41	4,35	4,41	4,35	4,41
2	4,22	4,28	4,22	4,28	4,22	4,28
4	4,09	4,15	4,09	4,15	4,09	4,15
6	4,15	4,21	4,15	4,21	4,15	4,21
8	4,39	4,41	4,39	4,41	4,39	4,41

Çizelge 3.38. Kademeli daralan kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen bileşke deplasman değerleri

t (s)	A noktası		B noktası		C noktası	
	$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)		$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)		$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)	
	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS
0	4,39	4,48	4,35	4,41	4,45	4,53
2	4,28	4,34	4,22	4,28	4,34	4,39
4	4,19	4,22	4,09	4,15	4,27	4,28
6	4,22	4,27	4,15	4,21	4,31	4,33
8	4,43	4,48	4,39	4,41	4,45	4,53

Çizelge 3.39. Kademeli daralan kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen bileşke deplasman değerleri

t (s)	A noktası		B noktası		C noktası	
	$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)		$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)		$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)	
	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS
0	4,31	4,39	4,30	4,21	4,36	4,42
2	4,18	4,25	4,15	4,21	4,25	4,32
4	4,02	4,13	4,01	4,03	4,12	4,14
6	4,11	4,16	4,07	4,11	4,17	4,20
8	4,32	4,34	4,29	4,31	4,41	4,45

Çizelge 3.40. Tedrici daralan kesitli difüzör No:1 kesiti zamanla değişen bileşke deplasman değerleri

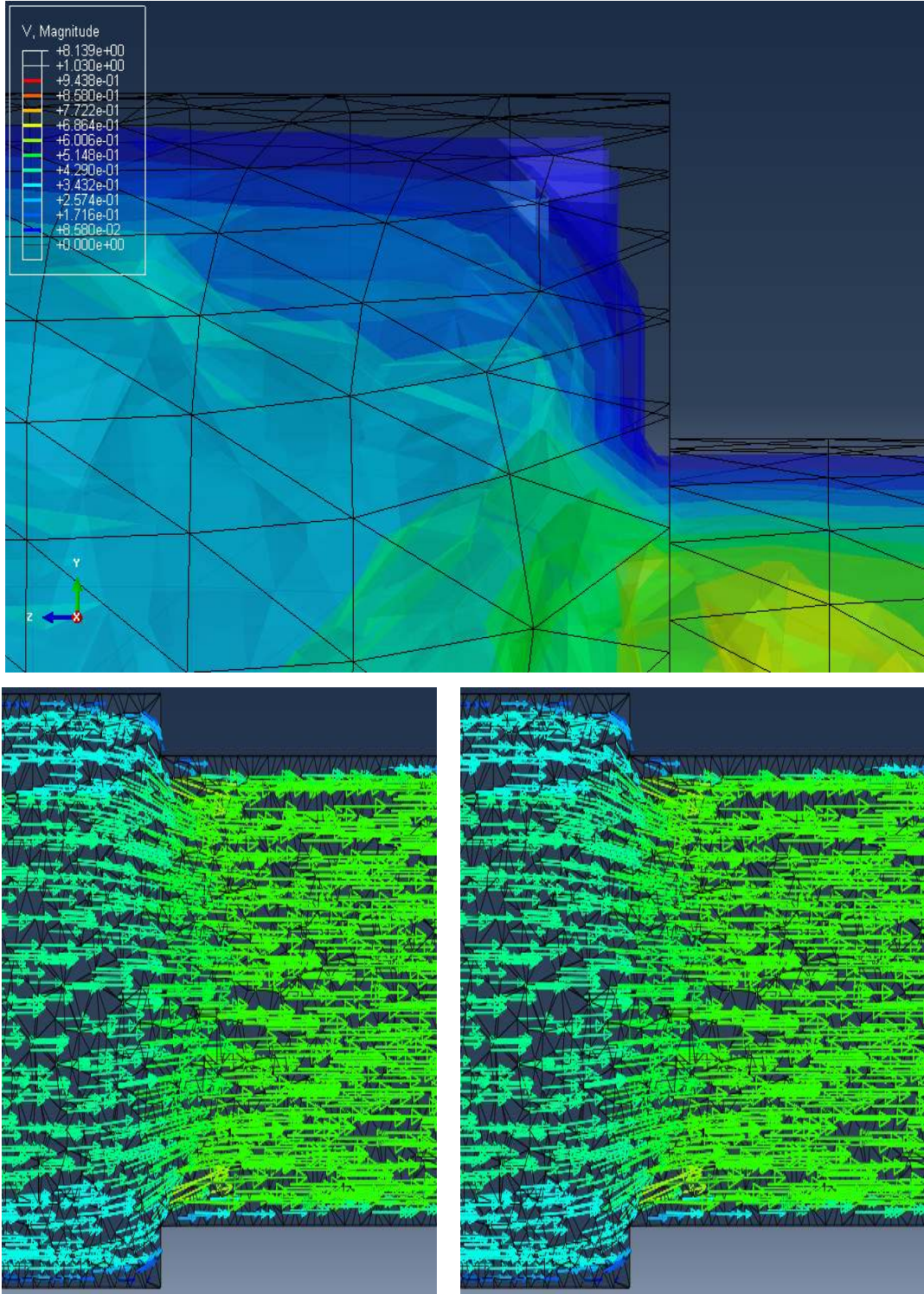
t (s)	A noktası		B noktası		C noktası	
	$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)		$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)		$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)	
	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS
0	4,37	4,42	4,39	4,44	4,40	4,4
2	4,25	4,29	4,26	4,30	4,27	4,28
4	4,12	4,17	4,13	4,19	4,15	4,18
6	4,17	4,21	4,19	4,22	4,20	4,22
8	4,41	4,42	4,43	4,44	4,44	4,45

Çizelge 3.41. Tedrici daralan kesitli difüzör No:2 kesiti zamanla değişen bileşke deplasman değerleri

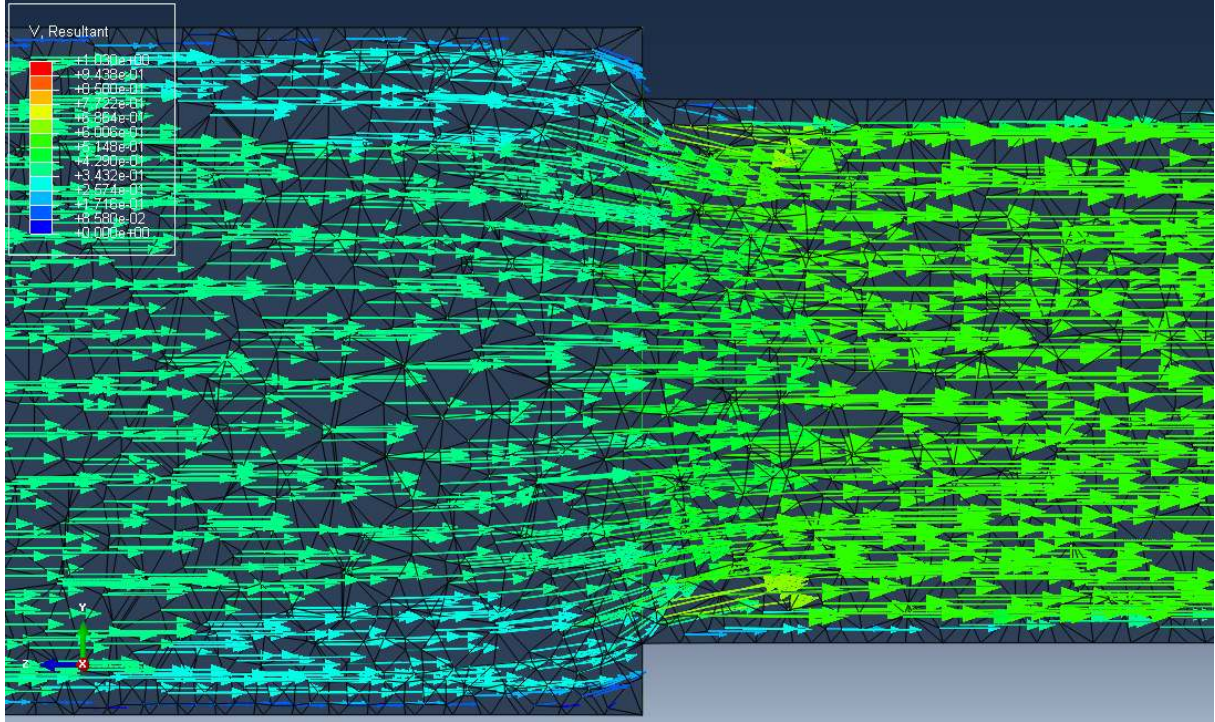
t (s)	A noktası		B noktası		C noktası	
	$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)		$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)		$\delta_M \times 10^{-4}$ (m)	
	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS	SAP 2000	ABAQUS
0	4,32	4,33	4,33	4,35	4,37	4,41
2	4,21	4,25	4,25	4,29	4,35	4,37
4	4,10	4,15	4,13	4,18	4,31	4,35
6	4,11	4,13	4,15	4,17	4,35	4,38
8	4,32	4,33	4,34	4,36	4,38	4,42

3.6. İç Akış Akım Çizgileri

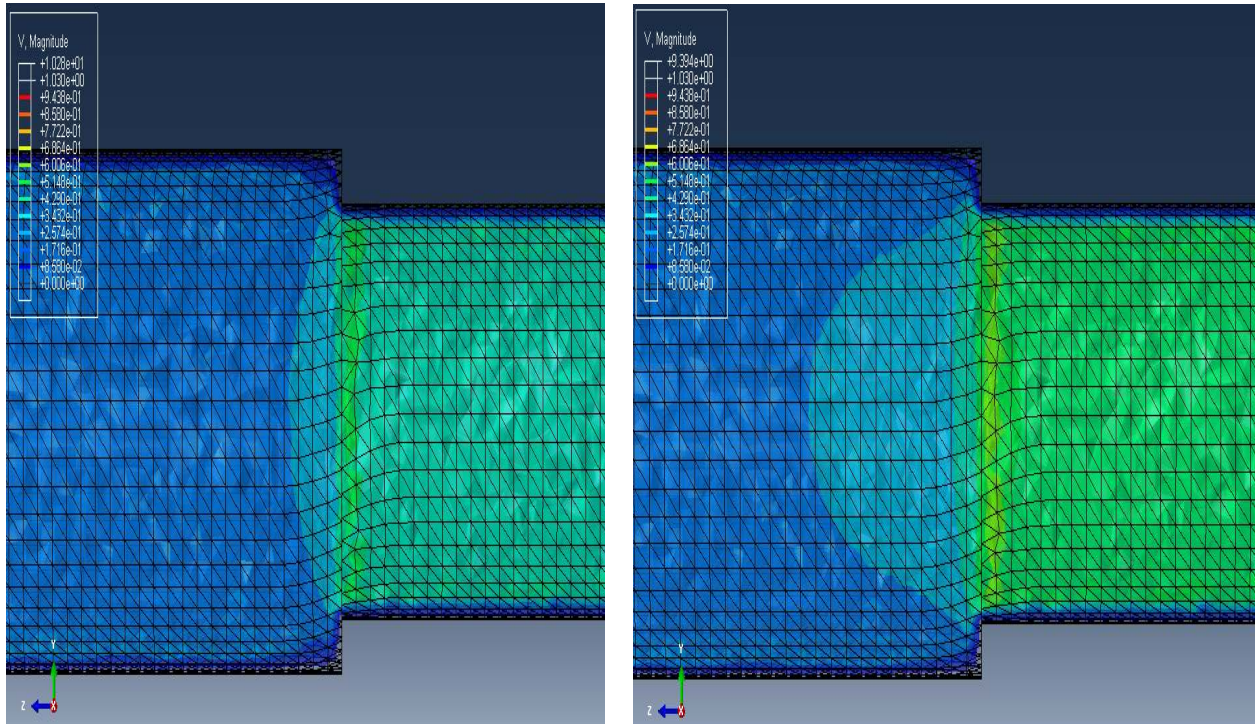
Şekil 3.40-3.45’de görüldüğü gibi kademeli daralan difüzör ana borusundan akış esnasında akım çizgileri ve kesitteki ölü bölgeler ABAQUS programıyla tayin edilebilir.



Şekil 3.40. Kademeli daralan kesitli difüzör akım çizgileri

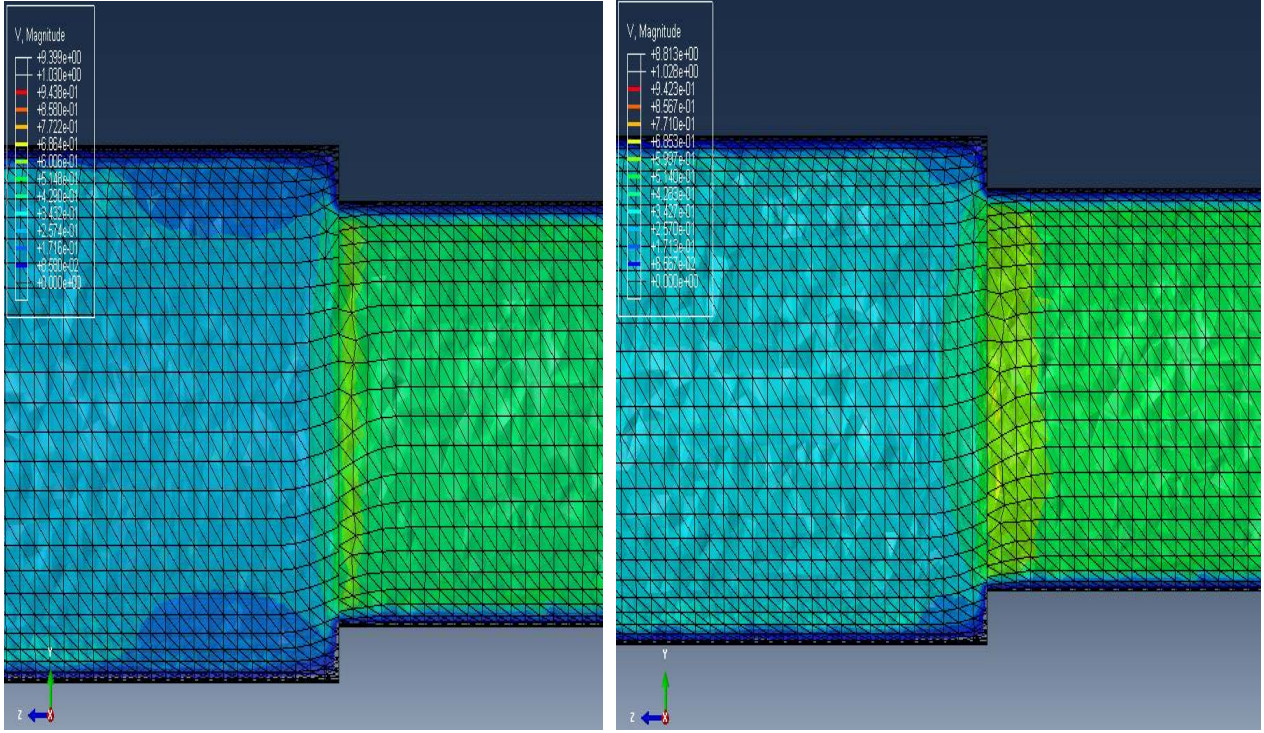


Şekil 3.41. $t=2$ s kademeli daralan kesitli difüzör akım çizgileri



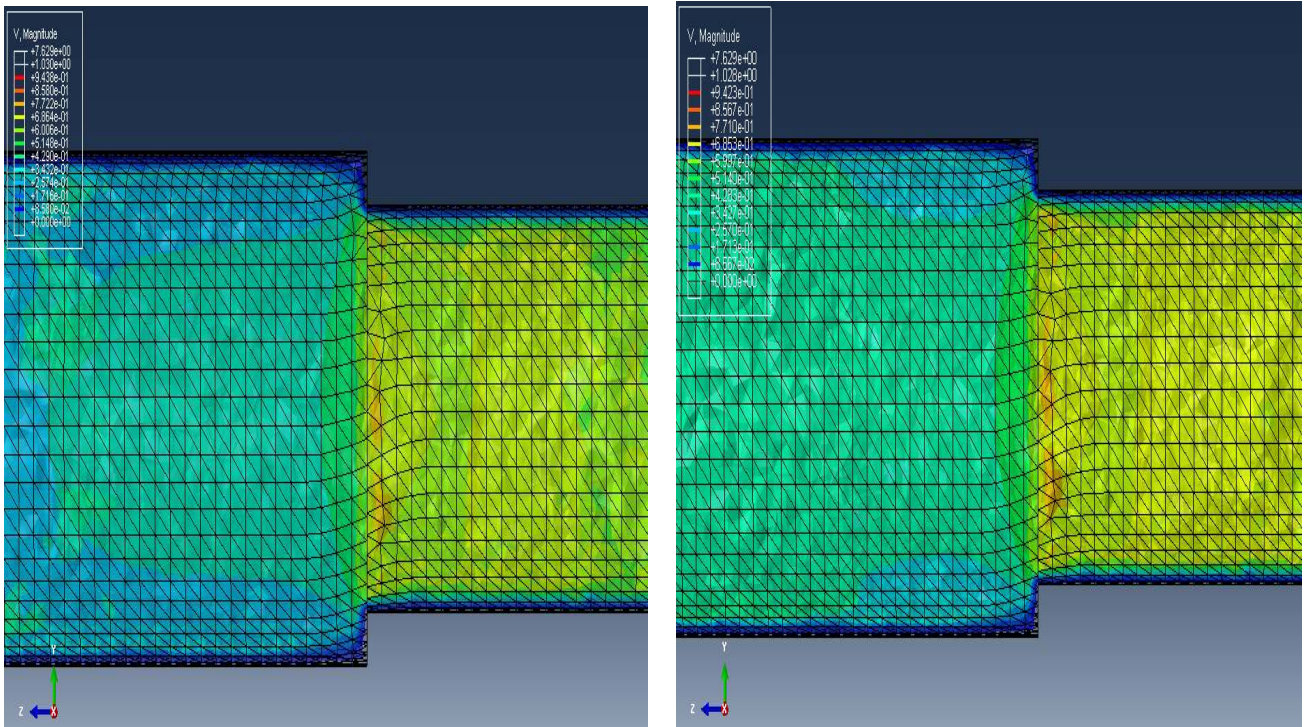
Şekil 3.42. $t=0$ s ve $t=1$ s kademeli daralan kesitte bileşke akım hızı

$t=0$ s'de geniş kesitte hız 0,17 m/s, dramla öncesi 0,40 m/s, daralma sonrası 0,60 m/s ve dar kesitte 0,50 m/s olarak görülmektedir. Akışkanın dar bir kesite geçerken hızı yükselmektedir. $t=1$ s'de geniş kesitte 0,20 m/s olan hız daralma öncesi 0,30 m/s, daralma sonrası 0,68 m/s ve dar kesitte 0,60 m/s olarak ölçülmüştür. Geniş kesitteki hız yükselmesi dar kesite de yansımaktadır.



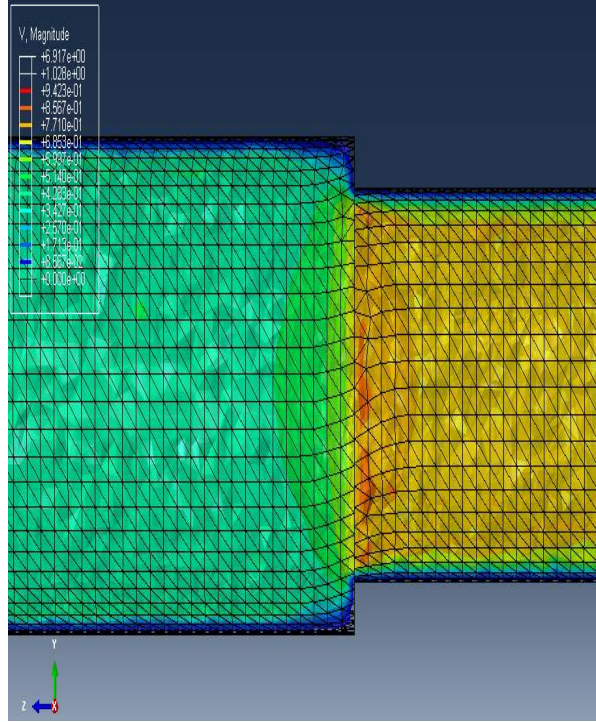
Şekil 3.43. $t=2$ s ve $t=4$ s kademeli daralan kesitte bileşke akım hızı

$t=2$ s'de geniş kesitte 0,25 m/s olan hız, daralma öncesi 0,34 m/s, daralma sonrası 0,60 m/s ve dar kesitte 0,77 m/s olarak kaydedilmektedir. Ölü bölgelerde 0,17 m/s olarak hız kaydetmek mümkündür. $t=6$ s'de geniş kesitte 0,34 m/s, daralma öncesi 0,42 m/s, daralma sonrası 0,68 m/s ve dar kesitte 0,77 m/s akışkan hızları bulunmaktadır. Geniş kesitte hız daha artmış bu durumda da dar kesitteki de buna paralel artış göstermiştir.



Şekil 3.44. $t=5$ s, $t=6$ s kademeli daralan kesitte bileşke akım hızı

$t=5$ s'de geniş kesitte 0,34 m/s ve 0,42 m/s, daralma öncesi 0,51 m/s, daralma sonrası 0,60 m/s ve dar kesitte 0,58 m/s kaydedilmiştir. $t=6$ s'de geniş kesitte 0,34 m/s ve 0,42 m/s, daralma öncesi 0,51 m/s, daralma sonrası 0,68 m/s ve dar kesitte 0,77 m/s kaydedilmiştir.

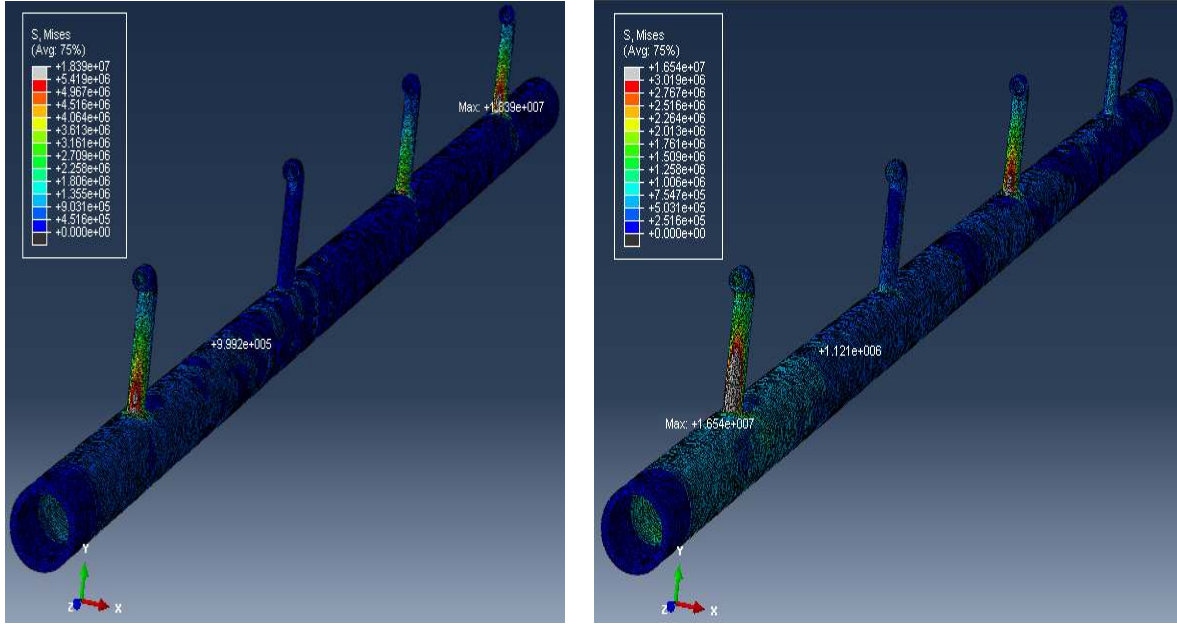


Şekil 3.45. $t=8$ s kademeli daralan kesitte bileşke akım hızı

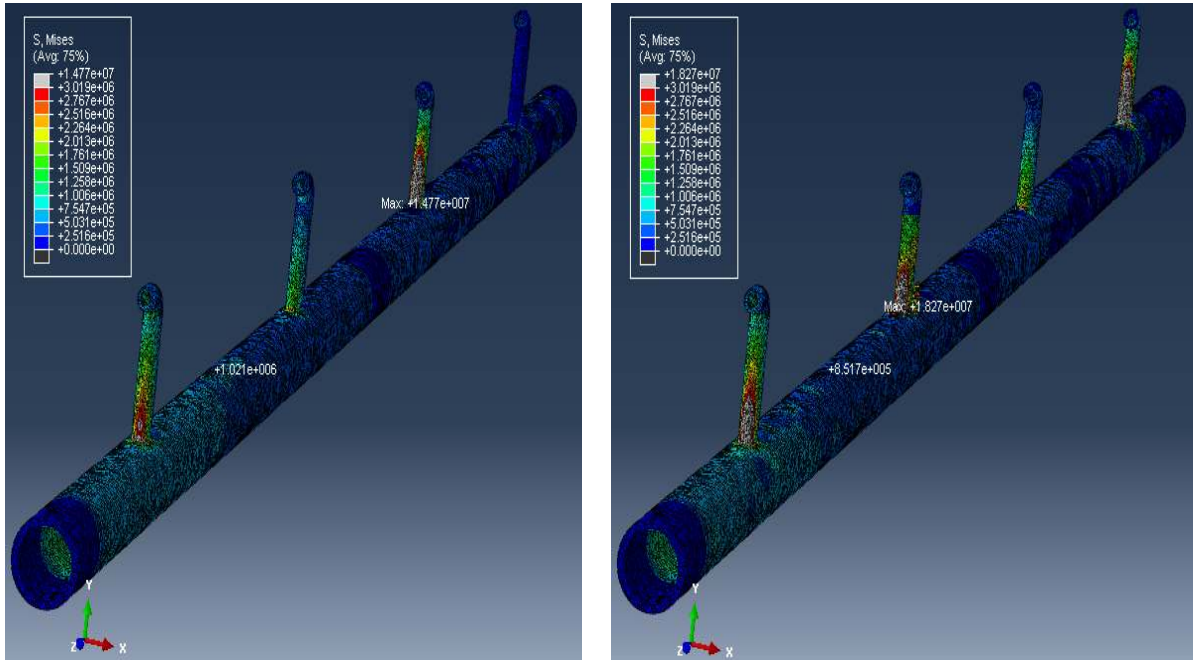
Son olarak $t=8$ s'de geniş kesitte 0,25 m/s, daralma öncesi 0,34 m/s, daralma sonrası 0,51 m/s ve 0,68 m/s ve dar kesitte 0,63 m/s kaydedilmiştir.

3.7. Von Mises Gerilmeleri

ABAQUS programı ile elde edilen zamanla değişen Von Mises Gerilmeleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

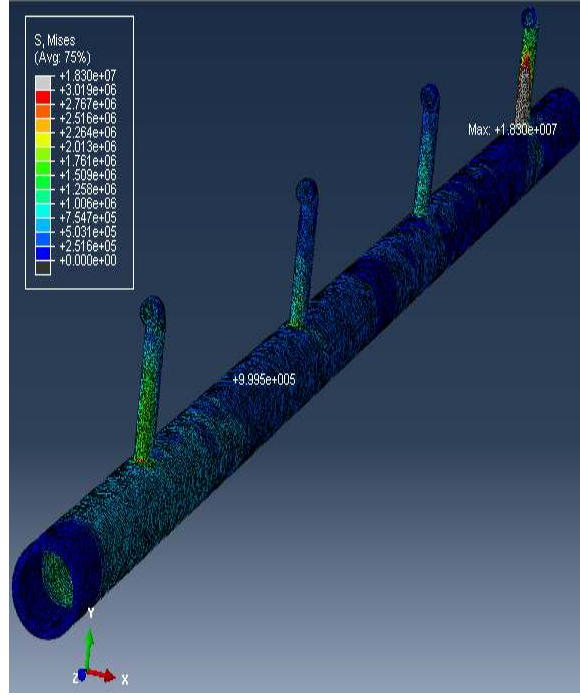


Şekil 3.46. Sabit kesitli difüzörde t=0 s ve t=2 s Von Mises Gerilmeleri



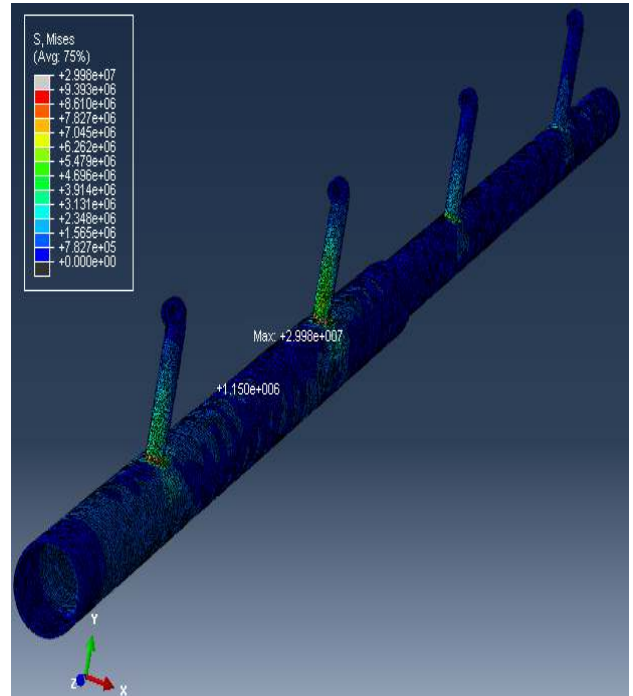
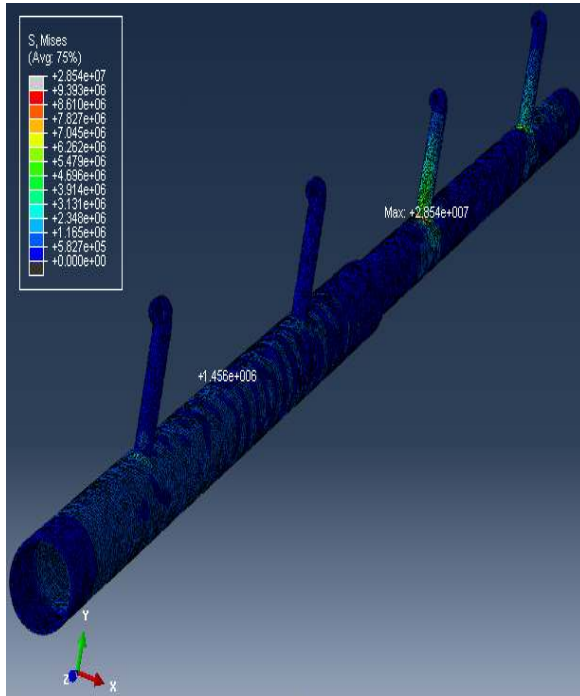
Şekil 3.47. Sabit kesitli difüzörde t=4 s ve t=6 s Von Mises Gerilmeleri

Dalganın t=4 s değerinde dördüncü çıkış borusunda oluşan gerilmelerin ana boruya da yayıldığı ve iç-dış akış etkisiyle borunun diğer kısımlarına nazaran daha da fazla gerilmenin oluşumuna neden olduğu görülmektedir. t=0 s'de maksimum gerilme $1,83 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ ve t=2 s'de $1,65 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ olarak kaydedilmiştir. t=4 s'de ise maksimum gerilme $1,47 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ ve t=6 s'de $1,82 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ olarak kaydedilmiştir. Dalganın t=6 s'de bütün çıkış borularında gerilmelerin arttığı görülmektedir.



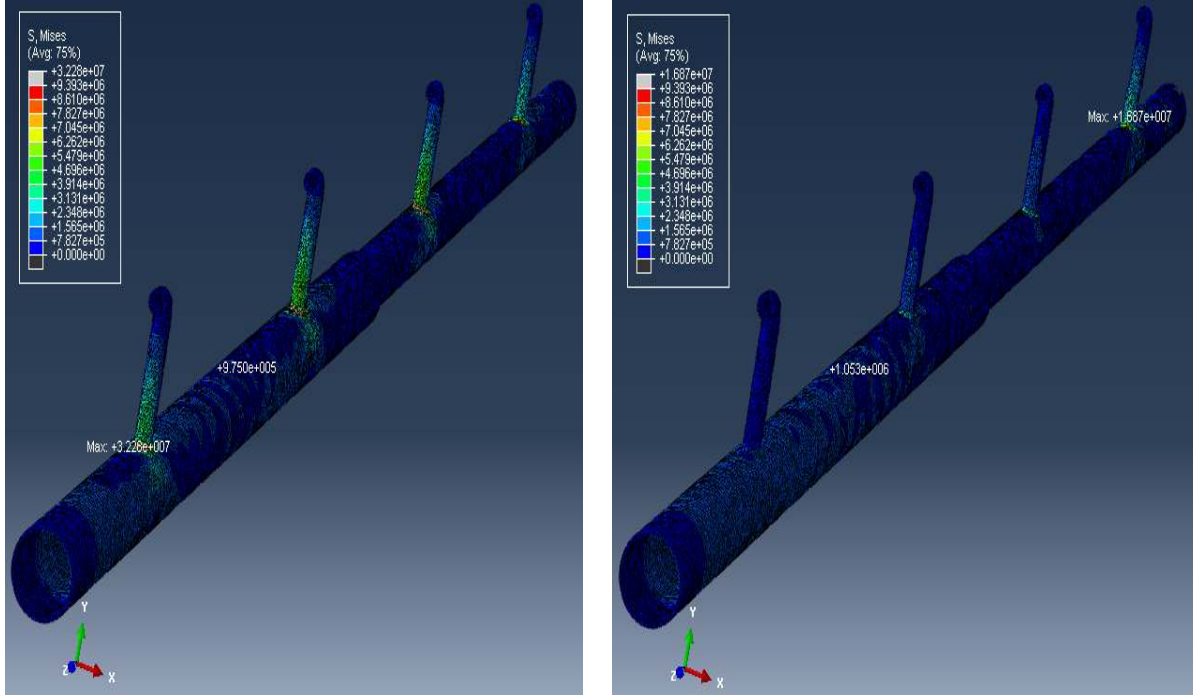
Şekil 3.48. Sabit kesitli difüzörde $t=8$ s Von Mises Gerilmeleri

$t=8$ s'de ise maksimum gerilme $1,83 \text{ E}^7 \text{ N/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Dalganın $t=8$ s'de ortaya çıkan gerilme durumunun $t=0$ s anını yakaladığı ve ilk durumuna döndüğü izlenimi edinilmektedir.



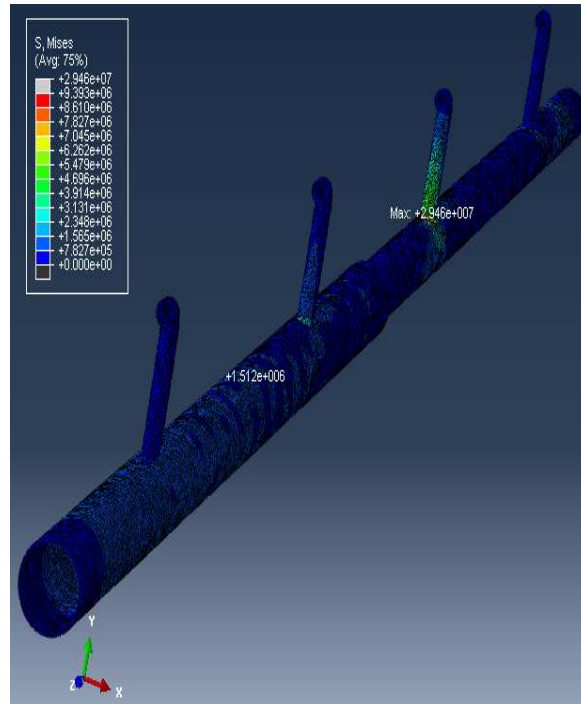
Şekil 3.49. Kademeli daralan kesitli difüzörde $t=0$ s ve $t=2$ s Von Mises Gerilmeleri

$t=0$ s'de maksimum gerilme $2,85 \text{ E}^7 \text{ N/m}^2$ ve $t=2$ s'de $2,99 \text{ E}^7 \text{ N/m}^2$ olarak kaydedilmiştir.



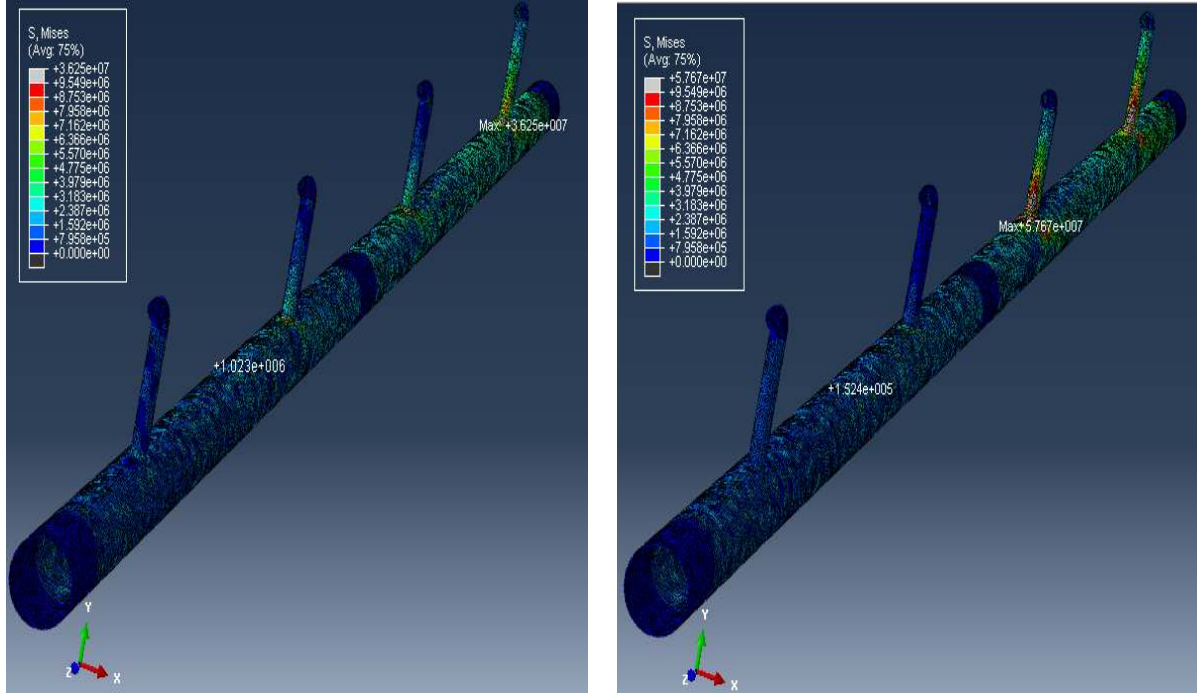
Şekil 3.50. Kademeli daralan kesitli difüzörde t=4 s ve t=6 s Von Mises Gerilmeleri

t=4 s'de maksimum gerilme $3,22 \text{ E}^7 \text{ N/m}^2$ ve t=6 s'de $1,68 \text{ E}^7 \text{ N/m}^2$ olarak kaydedilmiştir.



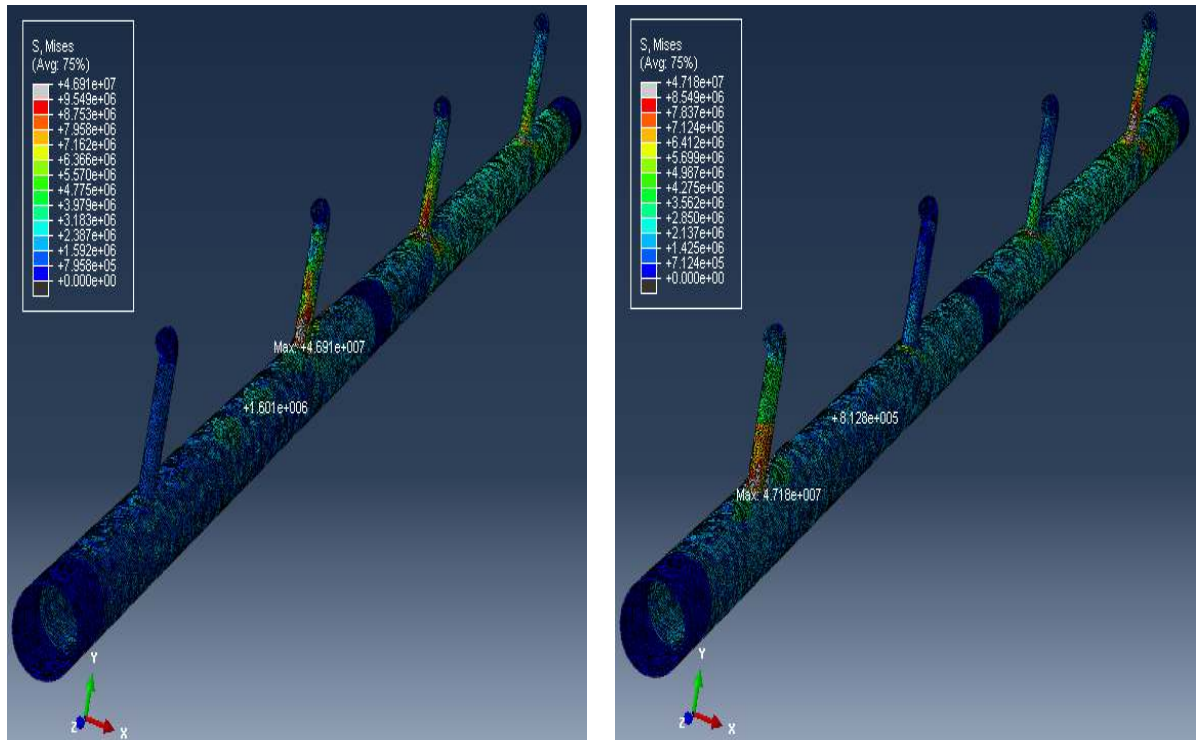
Şekil 3.51. Kademeli daralan kesitli difüzörde t=8 s Von Mises Gerilmeleri

t=8 s'de ise maksimum gerilme $2,94 \text{ E}^7 \text{ N/m}^2$ olarak kaydedilmiştir. Kademeli daralan borulu sistemde gerek çıkış borularında gerekse ana boruda ciddi gerilme artışları gözlenmemektedir. Ancak dalga geçişine ve tepesine bağlı olarak çıkış borularında gerilmeler dalga tepesine paralel olarak ilerlemektedir.



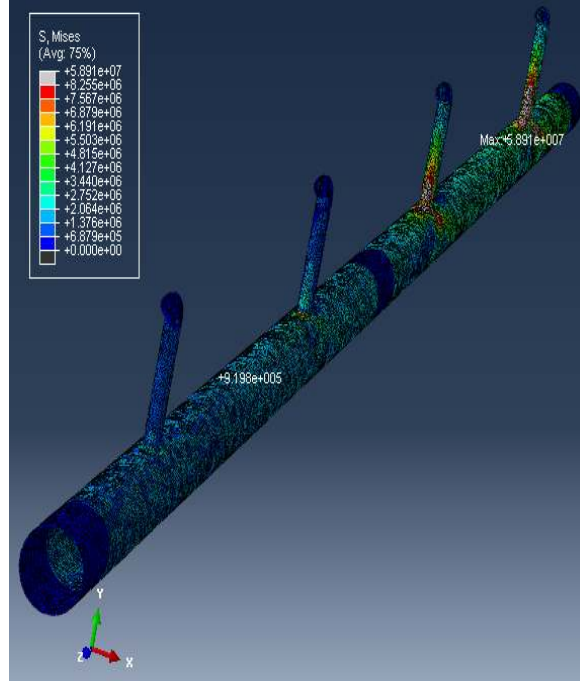
Şekil 3.52. Tedrici daralan kesitli difüzörde t=0 s ve t=2 s Von Mises Gerilmeleri

t=0 s'de maksimum gerilme $3,62 \text{ E}^7 \text{ N/m}^2$ ve t=2 s'de $5,76 \text{ E}^7 \text{ N/m}^2$ olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.53. Tedrici daralan kesitli difüzörde t=4 s ve t=6 s Von Mises Gerilmeleri

t=4 s' de maksimum gerilme $4,96 \text{ E}^7 \text{ N/m}^2$ ve t=6 s'de $4,71 \text{ E}^7 \text{ N/m}^2$ olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.54. Tedrici daralan kesitli difüzörde t=8 s Von Mises Gerilmeleri

t=8 s'de maksimum gerilme $5,89 \text{ E}^7 \text{ N/m}^2$ ve t=2s' de $1,65 \text{ E}^7 \text{ N/m}^2$ olarak kaydedilmiştir. Tedrici daralan borularda hem çıkış kanallarında hem de ana boruda gerilme artışları yüksek değerlere ulaşmaktadır. Gerilmelerin yüksek değerleri ana borunun daha dar olan kısımlarında ortaya çıkmaktadır. Tüm modellerde mesnet yerlerinde gerilme dağılımı renk skalasında mavi olduğu dolayısıyla gerilme oluşmadığı gözlemlenmiştir. Bu durum mesnetlerin işlevini gerçekleştirdiğini ortaya koymaktadır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; atık su deniz deşarjında, boru hattının ucunda yer alan ve seyrelmeyi sağlayan difüzörlerin iç ve dış akış kökenli hidrolik ve hidrodinamik parametrelerin değişimi ve difüzörün yapısal ve dinamik davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bugüne kadar yürütülen difüzör tasarımı üzerine yapılan hesaplamalar; kararlı iç akış hali, basit giriş tipi dış akış yüklemesi, burkulma ve basit giriş titreşimidir. Dış ortama ilişkin olarak hidrostatik dış basınç söz konusudur. İç akışta akışkanın boru cidarı üzerindeki etkileri ve borunun rijitliği ile malzeme yapısının akış üzerindeki etkileri dikkate alınmamıştır. Bu çalışmada ise kararlı iç akışın zamanla değişen dış basınç etkisiyle iç akış koşullarında düzensizliklerin olduğu, borunun esnekliğinin de iç ve dış akış parametrelerini değiştirebildiği esasına göre akışkan-boru bütünleşik modelleme dikkate alınarak tasarım yapılması hususu ele alınmaktadır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara aşağıda değinilmiştir.

1. DIFDES ile ön boyutlandırma yapılmış ana boru kesiti ve çıkış borusu aralık ve çapları hesaplanmıştır. HYDRODIF ile dış akış etkisinde boru iç basınç ve hızındaki değişimler dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Hidrostatik dış basınç yerine zamanla değişen hidrodinamik dış basınç alınmıştır. Difüzörün ABAQUS modellemesi gereği ileri sürülmüş ve buna ilişkin modelleme yapılmıştır. Bulgular kıyaslanmıştır. Farklı geometrik yapıda difüzörler modellenmiş durgun ve dalgalı ortamdaki değişimler incelenmiştir. Hidrolik-hidrodinamik ve yapısal analiz, birleşimiyle yapılan ayırık sistem analiz yerine akışkan-boru etkileşim modeli alınarak ABAQUS çözümlemesi yapılmıştır.
2. DIFDES programıyla durgun ortamdaki hidrostatik dış basınç altında çoklu-sabit çap ve aralıklı çıkış borularının üzerinde bulunduğu difüzörün hidrolik analizi; sabit, kademeli daralan ve tedrici daralan kesitli difüzörler için yapılmıştır. Çıkış borularının konumları ve fiziksel özellikleri her üç modelde de değişmemektedir. Akışkanın difüzör ana borusundaki üniform kesit hızı, iç basıncı ve enerji yükseklikleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.1). Üç difüzör tipinde de çıkış koordinatlarına denk gelen kesitlerdeki hızlar arasında bir değişim (kararlı akım hali olduğundan dolayı) görülmemiştir. 20 nolu deşarj çıkışı difüzör-boru hattı geçişindeki ilk çıkış, 1 nolu çıkış ise en son deşarj çıkışını temsil eder. Difüzör boyunca en yüksek enerji gerektiren tip sabit kesitli olanıdır. Kademeli ve tedrici daralan tiplerde kesitteki üniform hızlar ve enerjiler; sabit kesitliden küçük, birbirlerine ise yakındır.
3. HYDRODIF programıyla dalgalı deniz ortamındaki deşarj halinde dış basıncın hidrodinamik olarak alınması yoluna gidilmiştir. Hidrodinamik dış basınç, çıkışlardaki hidrostatik basınç yerine alınarak kesit üniform hızları, basınçları ve enerjileri 20 çıkış için Çizelge 3.2.'de hesaplanmıştır. Difüzör boyunca en yüksek enerji gerektiren tip kademeli daralan kesitli olanıdır. Sabit ve tedrici daralan tiplerde kesitteki üniform hızlar ve enerjiler; kademeli daralan kesitliden küçük, birbirlerine ise yakındır.
4. Hidrostatik dış basınç halinde *sabit kesitli*, hidrodinamik dış basınç halinde *kademeli daralan kesitli* difüzörlerde enerji kayıpları daha yüksektir. Zamanla değişen dış basınç özellikle ani kesit değişiminden kaynaklanan enerji kayıplarını arttırmaktadır. *tedrici daralan kesitli* difüzör hem durgun hem de dalgalı durumda en az enerji kaybına neden olmaktadır. Difüzör ana borunun 20 kesitinde de

elde edilen akışkan iç basınçları; hidrodinamik dış basınç esas alındığında (hidrostatik sabit dış basınç yaklaşımına göre) bütün difüzör tiplerinde daha yüksek elde edilmektedir. Gerek hidrostatik gerekse hidrodinamik dış basınç değerlerine göre hesaplanan iç basınçlar, tipler arasında farklılık göstermemektedir.

5. Şekil 3.3, son dört çıkış borusu ağzındaki deşarj hız parabolünü üç farklı difüzör tipi üzerinde göstermektedir. ABAQUS modellemesi uygun sınır şartlarında yapılmıştır. Bu şekil, kararlı akış halinde tüm çıkışlarda aynı hız profiline dolayısıyla eşit debi çıkışına uygun bir modelleme yapıldığını göstermektedir. Çizelge 3.4'de de HYDRODIF ve ABAQUS modellemelerinin her ikisinden de çıkış debilerinin aynı elde edilmiştir.
6. Şekil 3.4-3.7 sabit kesitli, Şekil 3.8-3.11 kademeli daralan ve Şekil 3.12-3.15 tedrici daralan difüzör ana borusu tiplerinin son dört çıkıştaki noktasal hızlarını göstermektedir. Cidarlara yakın olan düğümlerde hızların kesit ortalarına nazaran daha küçük olması gerektiği doğrulamakta, ancak hidrodinamik basıncın özellikle kademeli daralan tipte cidara yakın düğümlerde hızların türbülansını arttırdığını göstermektedir. ABAQUS modellemesi ile bütün şekillerdeki (düğümlerdeki hızlar yaklaşık 3,5-6,0 m/s bandında değişim gösteren) ortalama hızlar, yine aynı şekillerde dalgalı olarak KOD adlandırması ile gösterilen ve HYDRODIF programından durgun-dalgalı ortamlarda elde edilenlere (Çizelge 3.4 ve 3.5 de görüldüğü gibi) eşit değerler vermektedir.
7. Zamanla değişen dalga kökenli dış basınç; gerek HYDRODIF gerekse ABAQUS ile hesaplanmıştır. Boru en kesitinde yer alan A, B ve C noktalarında ve boy kesitinde yer alan 1 ve 2 nolu kesitlerinde (Şekil 3.17) iç ve dış basınçlar üretilmiş ve bu sonuçlara göre borudaki gerilmeler bulunmuştur. Sabit, kademeli ve tedrici daralan tiplerdeki difüzörlerin hepsinde iç basınç dış basınçtan büyüktür, ABAQUS ile hesaplanan ve periyot boyunca değişen iç-dış basınç değerleri de HYDRODIF'le hesaplananlardan daha büyüktür.
8. Şekil 3.20-3.24 sabit, Şekil 3.25-3.29 kademeli daralan ve Şekil 3.30-3.34 tedrici daralan difüzörlerdeki 20 kesitle tanımlanan iki açıklık boyunca boru en kesitindeki A noktasındaki dış basıncının dağılımı gösterilmektedir. Gerek ABAQUS gerekse HYDRODIF programından elde edilen dış basınçlarda aynı değerler hesaplanabilmiştir. Bu da ABAQUS programının hesapları doğruladığını ve aynı zamanda modellemedeki başlangıç ve sınır koşullarının uygun tanımlandığı ifade edilmektedir.
9. Boru en kesitinde Von Mises Gerilmeleri ve deformasyonlar hesaplanmıştır ve dağılımları ise sabit kesit için No:1 ve No:2 kesitlerinde olmak üzere Şekil 3.35 ve 3.36'da gösterilmektedir. SAP 2000 ve ABAQUS programlarından hesaplanan değerler üç tip difüzör için Çizelge 3.27-3.33' de verilmektedir. En kesitteki A, B ve C noktalarındaki gerilmeler örnek olarak verilirse görülecektir ki ABAQUS modellemesi daha uygun sonuçlar üretmektedir. Bu aşamaya kadar modellemede eşdeğerlikler gösteren ABAQUS modellemesi, tatminkar bir doğruluk sunmuştur. Ancak SAP2000 ile karşılaştırmasında gerilme değerleri ABAQUS çıktılarında daha büyüktür. SAP2000 ile hesaplamada; akışkan temel denklemlerinden elde edilen dış ve iç basınçlar sürekli giriş tipi silindirik boru kesitli bir

taşıyıcı elemana yüklenmiştir. Akışkanın rijit bir cisim üzerine katı bir yük biçiminde yüklenmesi, taşıyıcı sistemdeki deplasman ve deformasyonlardan akışkanın etkilenmemesi mantığına göre akışkan-boru etkileşimi dikkate alınmadan *ayrık sisteme göre* hesap yapılmaktadır. ABAQUS modellemesinde ise akışkan fleksibil bir cisim etrafında basınç uygulamakta. Fleksibil cisimdeki deformasyonlar ve deplasmanlar akışkanın iç ve dış basıncına etki etmekte, dolayısıyla *akışkan-boru bütünleşik bir sistem* hesaplamada dikkate alınacağından modelleme daha gerçekçidir. Bu nedenledir ki Von-Mises gerilmeleri; akışkan-boru bütünleşik ABAQUS programıyla, akışkan-boru ayrık esaslı SAP2000 programıyla hesaplanandan daha büyük değerler vermektedir. Ssbit, Kademeli Daralan ve Tedrici Daralan kesitli difüzörlerde hesaplanan gerilmeler; açıklıkların No:1 ve No:2 koordinatlarındaki boru kesitlerinde A,B ve C noktalarında SAP 2000 programıyla yapılanlar arasında ve ABAQUS modellemesiyle yapılanlar arasında farklılıklar göstermemektedir.

10. Deplasman ve bileşenleri; zamanla değişen yüklemeler (bir periyot boyunca) halinde SAP2000 ve ABAQUS ile benzer çıktılar vermektedir.
11. Akım çizgileri; ABAQUS modellerinde akışkan ortamında meshlerle tanımlanan tüm düğümlerde kullanılabilir, ölçülebilir ve hesaplanabilir çok uygun çıktılar vermiştir. Görsel olarak Şekil 3.40 ve 3.41 de verilmektedir. Kademeli daralan bir kesitten geçen akışkanın hız büyüklükleri hız vektörleri ve ölü bölgeler görülmektedir. Şekil 3.42-3.45'de $t=0, 2, 4, 6, 8$ s aralıklarında zamanla değişen kademeli bir kesitteki hız değişimi görüntülenmiştir. Durgun suda kararlı bir akış durumunda zamanla değişmeyen ve tek tip bir görüntüsü olmasına karşın zamanla değişen bir dış basıncın varlığı akış ortamında farklı hız dağılımlarının olmasına yol açmıştır. $t=0$ snlik görüntüde cidarlardaki hızlar sıfıra yakındır. Akış hızı ortamı geniş kesitte daha düşük, buna karşın dar kesitte daha yüksektir. $t=2$ s'de, dar kesitte hız yükselirken geniş kesite doğru da hız değeri yükselerek yayılmaktadır. $t=4$ s'de geniş kesitte büyük ölü bölgeler cidarlara yakın olarak ortaya çıkmaktadır. Bununla beraber kesitteki hız düşmekte, dar kesitte ise hız yükselmesi kaydedilmektedir. $t=6$ s'de geniş kesitte ölü bölgeler küçülmekte kesitteki hız yükselmekte, buna karşın dar kesitte daha da büyük hız ortamı görülmektedir. $t=8$ s'de yani bir periyotluk sürenin sonunda geniş kesitte ölü bölge ortadan kalkmaktadır. Bu durum göstermektedir ki difüzör içinde zamanla değişen dış basınç iç akış koşullarının kararlılığını bozmakta ve akış düzensizliklerini periyodik olarak değiştirmektedir. Bu durumda aşırı iç basınçların ortaya çıkması durumunda aşırı gerilmeler, deformasyonlar ve yerel burkulmalar görülebilir. Deformasyon ve burkulmaların kaynakları ve birleşimleri hasara uğratmamamsı istenir.
12. Von Mises gerilmeleri incelendiğinde görülecektir ki dalganın difüzör üzerinden geçiş profiline göre çoklu çıkış borularında ardışık olarak aşırı gerilmeler ortaya çıkmaktadır. Çıkış borularındaki gerilmeleri difüzör ana borusuna da yansıtmaktadır. Von Mises gerilmelerinin en büyük çıktığı difüzör tipi *tedrici daralan kesitli* difüzör tipidir.

Bu çalışmada elde edilen bilgilerin de ışığında; farklı dalga teorilerinin uygulanması durumunda akışkan-boru etkileşimi, çıkış borularına etkiyen dalga yüklerinin de SAP2000 hesaplamasında dikkate alınması ve bütün dinamik analiz aşamalarının analitik olarak da yapılabilirliğinin ispatlanması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Abaqus/CAE 6.10, 2010.
2. Abeele, F. V. D., Voorde, V. J. and Goes, P., 2008. Numerical modelling of vortex induced vibrations in submarine pipelines. Excerpt From the Proceedings of the Comsol Conference, Hannover.
3. Achouyab, E. H., and Bahrar, B., 2011. Numerical modeling of phenomena of water hammer using a model of fluid-structure interaction, C. R. Mecanique 339: 262–269.
4. Aksenov, A., Dyadkin, A., Luniewski T., and Pokhilko V., 2004. Fluid structure interaction analysis using ABAQUS and FlowVision, Proceedings of the Comsol Conference, Belgium.
5. Aldrahem, O. J., and Baz, A., 2002. Dynamic stability of stepped beams under moving loads, Journal of Sound and Vibration, 250(5): 835-848.
6. An, H., Cheng, L., and Zhao, M., 2011. Numerical simulation of a partially buried pipeline in a permeable seabed subject to combined oscillatory flow and steady current, Ocean Engineering, 38:1225-1236.
7. Bleninger, T., Jirka, G. H., 2005. User's manual for corhyd: an internal diffuser hydraulics model, University of Karlsruhe, Germany, Version 1.0.
8. Bleninger, T Perez, L. M., Milli, H. and Jirka, G. H., 2010. Internal hydraulic design of a long diffuser in shallow water: Buenos Aires Sewage Disposal in Rio de la Plata Estuary.
9. Bush SH., 1999. A review of nuclear piping failures and their use in establishing the reliability of piping systems. ASME PVP, 392:137–55.
10. Chatjigeorgiou, I. K., 2010. Three dimensional nonlinear dynamics of submerged, extensible catenary pipes conveying fluid and subjected to end-imposed excitations, International Journal of Non-Linear Mechanics 45: 667–680.
11. Chen, A., and Sparrow E. M., 2009. Turbulence modeling for flow in a distribution manifold, International Journal of Heat and Mass Transfer, 52:1573–1581.
12. Cippolina, A., Bonfiglio, A., Micale G., and Brucato, A., 2004, Dense jet modelling applied to the design of dense effluent diffusers, Desalination, 167:459-468.
13. Coastal Engineering Manual: Wave Mechanics, 2006. CERC Part II, USA.
14. Duer, M. J., and Salas, H. J., 2009. Use of duckbill valves to maintain marine outfall diffuser efficiency, Technical Note, Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences.
15. Erol, H., 2005. Vibration analysis of stepped-pipe strings for mining from deep-sea floors, Ocean Engineering, 32:37–55.
16. Fischer, H. B., List, E.J., Koh, R. C. Y., Imberger, J. and Brooks, N. H., 1979. Mixing in Inland and Coastal Waters, Academic Press, New York.
17. Gopaliya, M. K., and Chaudhary, K. K., 2010. CFD Analysis of performance characteristics of Y-shaped diffusers with combined horizontal & vertical offsets Aerospace Science and Technology, 14:338–347.

18. Gopaliya, M. K., Goel, P., Prashar, S., and Dutt, A., 2011. CFD Analysis of performance characteristics of S-shaped diffusers with combined horizontal & vertical offsets, *Computers & Fluids* 40:280-290.
19. Hansson, P. A., and Sandberg, G., 2010. Dynamic finite element analysis of fluid filled pipes, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 190: 24-25.
20. Hellum, A. M., Mukherjeea, R., and Hull A. J., 2010. Dynamics of pipes conveying fluid with non-uniform turbulent and laminar velocity profiles, *Journal of Fluids and Structures*, 26:804-813.
21. Hunt, C. D., Mansfield, A. D., Mickelson, M. J., Albro, C. S., Geyer, W. R. and Roberts, P. J.W., 2010. Plume tracking and dilution of effluent from the Boston sewage outfall, *Marine Environmental Research*, 70:150-161.
22. Lin, C. W., 1996. Design guide to reduce potential for vibration caused by fluid flow inside pipes review and survey, WRC Bulletin 417, New York.
23. Matlab, V: 6.5., 2002. The Math Works, Inc.
24. Qing, M., Jinghui, Z., Yushan, L., Haijun, W., and Quan, D., 2006. Experimental studies of orifice-induced wall pressure fluctuations and pipe vibration, *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 83:505-511.
25. Öztürk, İ., 2011. Deniz Deşarjı Tesisleri Tasarımı, Su Vakfı Yayınları.
26. SAP 2000 V14 (Structural Analysis Program). Integrated finite element analysis and design of structures. Berkeley (CA): Computers and Structures Inc (2000).
27. Tijsseling, A.S., 2007. Water hammer with fluid-structure interaction in thick-walled pipes, *Computers and Structures*, 85:844-851.
28. Wachel, J. C., Morton, S. C., and Atkins, K. E., 1990. Piping vibration analysis, *Proceedings of 19th Turbomachinery Symposium*.
29. Xue, J., and Fatt, M. S. H., 2001. Buckle propagation in pipelines with non-uniform thickness, *Ocean Engineering*, 28:1383-1392.
30. Xue, J., 2006. A non-linear finite-element analysis of buckle propagation in subsea corroded pipelines, *Finite Elements in Analysis and Design*, 42:1211-1219.
31. Zaghloul, N. A., 1997. Unsteady gradually varied flow in circular pipes with variable roughness, *Advances in Engineering Software* 28:115-131.

ÖZGEÇMİŞ**Kişisel Bilgiler**

Adı-Soyadı : Engin GÜCÜYEN
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi : 13.05.1983
Doğum Yeri : MANİSA / Merkez
Telefon : 0 (236) 201 23 21
E-mail : engin.gucuyen@cbu.edu.tr

Eğitim

Yüksek Lisans : Celal Bayar Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü (2005-2008)
Lisans : Celal Bayar Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü (2001-2005)

İş Deneyimi

Araştırma Görevlisi / Celal Bayar Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü (2005-Devam Ediyor)

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca