T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MOTORSUZ YÜZER BİR CİSMİN DÜZ DENİZ TABANINDA MEYDANA GETİRDİĞİ HİDROMORFOLOJİK ETKİLERİN İNCELENMESİ

ONUR BORA

DOKTORA TEZİ

Jüri Üyeleri :	**Doç. Dr. Nuray GEDİK**	**(Tez Danışmanı)**
	Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI	**(Eş Danışman)**
	Prof. Dr. Emel İRTEM	
	Dr. Öğr. Üyesi Banu YAĞCI	
	Doç. Dr. Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN	
	Dr. Öğr. Üyesi M. Adil AKGÜL	

BALIKESİR, EKİM - 2022

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımca hazırlanan **"Motorsuz Yüzer Bir Cismin Düz Deniz Tabanında Meydana Getirdiği Hidromorfolojik Etkilerin İncelenmesi"** başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Onur BORA

Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BAP 2019/021 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

MOTORSUZ YÜZER BİR CİSMİN DÜZ DENİZ TABANINDA MEYDANA GETİRDİĞİ HİDROMORFOLOJİK ETKİLERİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

ONUR BORA

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. NURAY GEDİK)

(EŞ DANIŞMAN: PROF. DR. M. SEDAT KABDAŞLI)

BALIKESİR, EKİM - 2022

Yaklaşım kanallarında, nehirlerde, iç limanlara bağlantının sağlandığı suyollarında seyreden yüzer cisimler, gemi dalgaları, geri dönüş akımları, pervane jet akımları gibi çeşitli hidrodinamik etkilere neden olmakta, bu etkiler ise denizel ortamda çeşitli morfolojik değişimlere neden olmaktadır. Bu doktora tezi kapsamında, düz bir deniz tabanında seyreden motorsuz bir yüzer cismin meydana getirdiği hidrodinamik etkiler ve bu etkilere bağlı meydana gelen morfolojik değişimlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu noktada, yüzer cismin çekilme hızı, baş yapısı, temiz açıklığı ve deniz tabanındaki katı madde özelliklerine bağlı olarak 96 farklı senaryo oluşturularak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yardımıyla gerekli çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalarda yüzer cisim hidrodinamiği ve buna bağlı askıya kalkan katı madde miktarları açısından karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde, küt baş yapılı yüzer cismin meydana getirdiği askıdaki katı madde miktarlarının, baş yapısı eğimli olan yüzer cisme oranla çekilme hızlarına bağlı olarak 1,1~3,2 kat arasında değişmekle birlikte ortalama 1,95 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Yüzer cismin genişlemesi ve uzaması durumlarında meydana gelen askıdaki katı madde miktarları ise, yüzer cismin genişlemesi durumunda küt baş için 1,41~1,94 kat arasında değişmekle birlikte ortalama olarak 1,72 kat arttığı, yüzer cismin boyunun uzaması durumunda ise askıdaki katı maddenin 0,69~0,98 kat arasında değişmekle birlikte ortalama 0,89 kat azaldığı, eğimli baş yapılı yüzer cisimde ise sırasıyla bu değerlerin ortalama olarak 1,88 ve 0,93 kat olduğu tespit edilmiştir.

Buna göre özetle, katı madde hareketi açısından yüzer cismin baş geometrisinin en önemli parametre olduğu, ikincil parametre olarak yüzer cismin hızı ve üçüncül parametre olarak tabana olan uzaklığının tasarımcılar açısından ileriye dönük katı madde hareketi tahmini aşamalarında göz önüne alınmasının önem taşıdığı belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Yüzer cisim hidrodinamiği, katı madde hareketi, hidromorfoloji, HAD, geri dönüş akımı.

Bilim Kod / Kodları : 91112, 91120 Sayfa Sayısı : 179

ABSTRACT

INVESTIGATION OF HYDROMORPHOLOGICAL EFFECTS CAUSED BY A NON-POWERED FLOATING OBJECT IN FLATBED

PH.D THESIS

ONUR BORA

BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. NURAY GEDİK)

(CO-SUPERVISOR: PROF. DR. M. SEDAT KABDAŞLI)

BALIKESİR, OCTOBER - 2022

Floating objects (FO) navigating in approach channels, rivers and waterways cause various hydrodynamic effects such as ship waves, return currents and propeller jet currents which lead to various morphological changes at the seabed. The scope of this doctoral thesis is to determine the hydrodynamic effects and morphological changes induced by non-powered FO navigating on a flat seabed. At this point, 96 scenarios were conducted with the help of CFD depending on the pulling speed of the FO, bow geometry, static gross under keel clearance and sediment properties on the seabed.

In the study, the amount of suspended sediment caused by FO induced hydrodynamics is compared for each scenario. As a result of the study, it is determined that the amount of suspended sediment induced by the straight headed FO was varies between 1.1~3.2 times, on average 1.95 times more than the raked (with vertical head-log) bow FO depending on the pulling speeds.

In the case of the increase in the width of the straight bow FO, the amount of suspended sediment increased by 1.41~1.94 times, on average 1.2 times compared to base scenario. On the other hand, the suspended sediment decreased by 0.69~0.98 times with an average of 0.89 times when the length of the FO was increased. For the raked bow FO, these values were determined as 1.88 and 0.93 times on average, respectively.

In brief, it is determined that the bow geometry of the FO is the most important parameter in terms of suspended sediment transport, and it is followed by the pulling speed and the UKC of the floating object. These parameters are important for designers to consider in the forward-looking estimation of sediment transport.

KEYWORDS: Floating object hydrodynamic, sediment transport, hydromorphology, CFD, return flow

Science Code / Codes : 91112, 91120 Page Number : 179

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
İÇİNDEKİLER ..... **iii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **v**
TABLO LİSTESİ ..... **xvii**
SEMBOL LİSTESİ ..... **xviii**
ÖNSÖZ ..... **xx**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Çalışmanın Amacı 2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **3**
2.1 Yüzer Cisim (Mavna) Hidrodinamiği 3
2.1.1 Yüzer Cisim Hareketleri 5
2.1.2 Yüzer Cisim Kaynaklı Su Hareketleri 8
2.1.3 Birincil Dalga Sistemindeki Su Seviyesi Alçalmasının Ampirik Hesaplama Yöntemleri 13
2.1.4 Geri Dönüş Akımının Ampirik Hesaplama Yöntemleri 16
2.2 Gemi Gövdesi Altındaki Akım 19
2.2.1 Couette ve Poiseuille Akımları ile Benzerlik 20
2.2.2 Yayılma (Fanning Out) Etkisi 22
2.2.3 Gemi Gövdesi Altındaki Maksimum Akım Hızlarının Hesaplama Yöntemleri 23
2.3 Yüzer Cismin Hidromorfolojisi Üzerine Çalışmalar 25
3. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) **34**
3.1 Kullanılan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yazılımı (FLOW-3D Hydro) 36
3.1.1 Volume of Fluid (VOF) ve Fractional Area/Volume Obstacle Representation (FAVOR) Teknikleri 42
3.1.2 Sınır Şartları Tipleri 45
3.1.3 Türbülans Modelleri 46
4. SAYISAL MODELLEME **50**
4.1 Sayısal Modelin Kurulumu 50
4.1.1 Yüzer Cisim Boyutlarının ve Tipinin Seçimi 50
4.1.2 Çalışma Alanının Seçimi 52
4.1.3 Hesaplama Grid Boyutlarının Seçimi 56
4.1.4 Sınır Şartları 61
4.1.5 Türbülans Modeli ve Sayısal Modelde Kullanılan Parametreler 62
4.2 Sayısal Model Senaryoları 63
4.3 Sayısal Model Sonuçları 65
5. SONUÇLAR **105**
6. KAYNAKLAR **111**
EKLER 118
EK A: Plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönlerinin gösterildiği model sonuçlarının devamı. 119

EK B: Hidromorfolojik etkiler, deniz tabanında x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve tabanda meydana gelen kayma hızlarının gösterildiği model sonuçlarının devamı. .. 149
ÖZGEÇMİŞ 178

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Kelvin dalga yapıları 3
Şekil 2.2: Sabit su derinliğindeki kritik dalga yapısı 4
Şekil 2.3: Sabit su derinliğindeki kritik üstü dalga yapısı 5
Şekil 2.4: Bir yüzer cismin hareket modları (Varela ve Solares, 2011). 6
Şekil 2.5: Gemi omurgası etrafında meydana gelen basınç dağılımları 9
Şekil 2.6: (a) Patria isimli geminin Garn ölçüm istasyonuna seyri; (b) Seyir sonrası birincil dalgaların kıyıdaki durumu (Larson ve diğerleri, 2017). 10
Şekil 2.7: (a) Açık denizde (sınırlandırılmamış alan) ve (b) kanal içerisinde (sınırlandırılmış alan) gemi etrafında meydana gelen akım koşulları (Kuhn, 1985). 10
Şekil 2.8: Tipik bir içdeniz gemisi için seyir doğrultusunda meydana gelen su seviyesi değişimleri, squat (çökme) ve geri dönüş akımları (Kuhn, 1985). 11
Şekil 2.9: (a) Seyir halinde gemi etrafında meydana gelen birincil ve ikincil su hareketleri, (b) kritik altı hızda seyreden bir geminin meydana getirdiği dalga sistemleri (Roo, 2010). 12
Şekil 2.10: Enine ve boyuna dalgalar. 12
Şekil 2.11: Schijf metodu ve gemiye sabitlenmiş koordinat sistemi. 18
Şekil 2.12: Seyir halindeki bir geminin gövdesi altındaki akım (Robjins, 2014'den alıntılanarak yenilenmiştir). 20
Şekil 2.13: İki paralel levha arasındaki Couette-Poisseuille akımı, P>0 levha hareket yönü doğrultusunda basınç düşümü, P<0 ise levha hareket yönü doğrultusunda basınç yükselişi 22
Şekil 2.14: Yayılma (fanning-out) etkisi. 23
Şekil 3.1: VOF yönteminin şematik gösterimi-I. 43
Şekil 3.2: VOF yönteminin şematik gösterimi-II. 43
Şekil 3.3: FAVOR yönteminin şematik gösterimi. 44
Şekil 3.4: FAVOR yöntemi ile grid çözünürlüğü ilişkisi. 44
Şekil 4.1: Sayısal modellemeye ait akış şeması. 50
Şekil 4.2: Mavna uzunluğunun mavna derinliğiyle karşılaştırılması. 50
Şekil 4.3: Mavna genişliğinin mavna derinliğiyle karşılaştırılması. 51
Şekil 4.4: Mavna uzunluğunun mavna genişliğiyle karşılaştırılması 51
Şekil 4.5: Baş yapısı küt olan bir numaralı yüzer cisim (izometrik görünüm). 52
Şekil 4.6: Baş yapısı eğimli olan iki numaralı yüzer cisim (izometrik gürünüm). 52
Şekil 4.7: Dört farklı çalışma alanı genişliğinde her bir alanda meydana gelen akım hızlarının değişimi, plan görünümü. 53
Şekil 4.8: Dört farklı çalışma alanı genişliğinde her bir alanda meydana gelen askıdaki katı madde konsantrasyonlarının değişimi, plan görünümü. 54
Şekil 4.9: Dört farklı çalışma alanı genişliğinde her bir alanda meydana gelen morfolojik değişimler, plan görünümü. 54
Şekil 4.10: Dört farklı çalışma alanı genişliğinde her bir alanda meydana gelen akım hızlarının kesit görünümü. 55
Şekil 4.11: Dört farklı çalışma alanı genişliğinde her bir alanda meydana gelen askıdaki katı madde konsantrasyonlarının kesit görünümü. 55
Şekil 4.12: Dört farklı çalışma alanı genişliğinde her bir alanda meydana gelen morfolojik değişimlerin kesit görünümü. 56

Şekil 4.13: Katı madde hareketinin göz önüne alınmadığı 5 farklı çalışma için oluşturulan hesaplama gridlerinin yandan görünümü..... 59
Şekil 4.14: Sayısal modelde kullanılan grid yapısı (izometrik görünüm)..... 60
Şekil 4.15: Sayısal modelde kullanılan grid yapısı (yandan görünüm). 60
Şekil 4.16: Sayısal modelde kullanılan grid yapısı (önden görünüm). 60
Şekil 4.17: Taban yakınında sıklaştırılan grid yapısı (yandan görünüm). 61
Şekil 4.18: Çalışma alanı sınırlarında tanımlanan sınır koşulları, çalışma alanı ve yüzer cisim..... 61
Şekil 4.19: Senaryo-2 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 66
Şekil 4.20: Senaryo-6 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 66
Şekil 4.21: Senaryo-10 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 66
Şekil 4.22: Senaryo-14 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 67
Şekil 4.23: Senaryo-18 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 67
Şekil 4.24: Senaryo-22 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 68
Şekil 4.25: Senaryo-26 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 68
Şekil 4.26: Senaryo-30 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 68
Şekil 4.27: Senaryo-34 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 69
Şekil 4.28: Senaryo-38 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 69
Şekil 4.29: Senaryo-42 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 70
Şekil 4.30: Senaryo-46 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 70
Şekil 4.31: Senaryo-50 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 71
Şekil 4.32: Senaryo-54 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 71
Şekil 4.33: Senaryo-58 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 71
Şekil 4.34: Senaryo-62 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 72
Şekil 4.35: Senaryo-66 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 72
Şekil 4.36: Senaryo-70 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 73
Şekil 4.37: Senaryo-74 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 73
Şekil 4.38: Senaryo-78 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 73
Şekil 4.39: Senaryo-82 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri..... 74

Şekil 4.40: Senaryo-86 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 74
Şekil 4.41: Senaryo-90 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 75
Şekil 4.42: Senaryo-94 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 75
Şekil 4.43: Senaryo-2 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 76
Şekil 4.44: Senaryo-6 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 77
Şekil 4.45: Senaryo-10 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 77
Şekil 4.46: Senaryo-14 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 77
Şekil 4.47: Senaryo-18 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 78
Şekil 4.48: Senaryo-22 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 78
Şekil 4.49: Senaryo-26 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 79
Şekil 4.50: Senaryo-30 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 79
Şekil 4.51: Senaryo-34 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 80
Şekil 4.52: Senaryo-38 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 80
Şekil 4.53: Senaryo-42 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 80
Şekil 4.54: Senaryo-46 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 81
Şekil 4.55: Senaryo-50 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 81
Şekil 4.56: Senaryo-54 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 82

Şekil 4.57: Senaryo-58 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 82
Şekil 4.58: Senaryo-62 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 82
Şekil 4.59: Senaryo-66 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 83
Şekil 4.60: Senaryo-70 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 83
Şekil 4.61: Senaryo-74 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 84
Şekil 4.62: Senaryo-78 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 84
Şekil 4.63: Senaryo-82 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 85
Şekil 4.64: Senaryo-86 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 85
Şekil 4.65: Senaryo-90 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 85
Şekil 4.66: Senaryo-94 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 86
Şekil 4.67: Temiz açıklığın 0,80 m olduğu durumda farklı hız değişimlerine (Senaryo 2-6-10 ve 14 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (küt baş yapısına sahip yüzer cisim). 87
Şekil 4.68: Temiz açıklığın 0,80 m olduğu durumda farklı hız değişimlerine (Senaryo 18-22-26 ve 30 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (küt baş yapısına sahip yüzer cisim, genişliğin arttırıldığı durum)..... 87
Şekil 4.69: Temiz açıklığın 0,80 m olduğu durumda farklı hız değişimlerine (Senaryo 34-38-42 ve 46 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (küt baş yapısına sahip yüzer cisim, uzunluğun arttırıldığı durum). 88
Şekil 4.70: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 2 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo-18-34, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (küt baş yapısına sahip yüzer cisim)..... 88
Şekil 4.71: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 1,5 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo-22-38, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (küt baş yapısına sahip yüzer cisim)..... 89

Şekil 4.72: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 1 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo-26-42, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (küt baş yapısına sahip yüzer cisim)..... 89
Şekil 4.73: Temiz açıklığın 0,80 m olduğu durumda farklı hız değişimlerine (Senaryo 50-54-58 ve 62 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim). 90
Şekil 4.74: Temiz açıklığın 0,80 m olduğu durumda farklı hız değişimlerine (Senaryo 66-70-74 ve 78 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim, genişliğin arttırıldığı durum)..... 90
Şekil 4.75: Temiz açıklığın 0,80 m olduğu durumda farklı hız değişimlerine (Senaryo 82-86-90 ve 94 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim, uzunluğun arttırıldığı durum). 91
Şekil 4.76: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 2 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo-66-82, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim)..... 91
Şekil 4.77: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 1,5 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo-70-86, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim)..... 92
Şekil 4.78: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 1 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo-74-90, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim)..... 92
Şekil 4.79: Temiz açıklığın 0,80 m ve farklı hız değişimlerinde (Senaryo 2-6-10 ve 14 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) meydana gelen durum (küt baş yapısına sahip yüzer cisim)..... 93
Şekil 4.80: Temiz açıklığın 0,80 m olduğu ve yüzer cismin genişliğinin arttırıldığı durumda farklı hız değişimlerine bağlı (Senaryo 18-22-26 ve 30 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) meydana gelen durum (küt baş yapısına sahip yüzer cisim). 94
Şekil 4.81: Temiz açıklığın 0,80 m olduğu ve yüzer cismin uzunluğunun arttırıldığı durumda farklı hız değişimlerine bağlı (Senaryo 34-38-42 ve 46 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) meydana gelen durum (küt baş yapısına sahip yüzer cisim). 94
Şekil 4.82: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 2 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo 18-34, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı meydana gelen durum (küt baş yapısına sahip yüzer cisim). 95
Şekil 4.83: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 1,5 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo 22-38, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı meydana gelen durum (küt baş yapısına sahip yüzer cisim). 95
Şekil 4.84: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 1,0 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo 26-42, sırasıyla genişleme ve

boy uzama) bağlı meydana gelen durum (küt baş yapısına sahip yüzer cisim). 96
Şekil 4.85: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 0,5 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo 30-46, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı meydana gelen durum (küt baş yapısına sahip yüzer cisim). 96
Şekil A. 1: Senaryo-3 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 119
Şekil A. 2: Senaryo-4 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 119
Şekil A. 3: Senaryo-5 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 120
Şekil A. 4: Senaryo-7 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 120
Şekil A. 5: Senaryo-8 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 121
Şekil A. 6: Senaryo-9 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 121
Şekil A. 7: Senaryo-11 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 122
Şekil A. 8: Senaryo-12 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 122
Şekil A. 9: Senaryo-13 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 123
Şekil A. 10: Senaryo-14 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 123
Şekil A. 11: Senaryo-15 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 124
Şekil A. 12: Senaryo-16 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 124
Şekil A. 13: Senaryo-19 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 125
Şekil A. 14: Senaryo-20 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 125
Şekil A. 15: Senaryo-23 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 126
Şekil A. 16: Senaryo-24 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 126
Şekil A. 17: Senaryo-25 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 127
Şekil A. 18: Senaryo-27 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 127
Şekil A. 19: Senaryo-28 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 128
Şekil A. 20: Senaryo-29 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 128
Şekil A. 21: Senaryo-31 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 129
Şekil A. 22: Senaryo-32 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 129

Şekil A. 23: Senaryo-35 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 130
Şekil A. 24: Senaryo-36 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 130
Şekil A. 25: Senaryo-37 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 131
Şekil A. 26: Senaryo-39 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 131
Şekil A. 27: Senaryo-40 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 132
Şekil A. 28: Senaryo-41 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 132
Şekil A. 29: Senaryo-43 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 133
Şekil A. 30: Senaryo-44 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 133
Şekil A. 31: Senaryo-45 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 134
Şekil A. 32: Senaryo-47 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 134
Şekil A. 33: Senaryo-48 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 135
Şekil A. 34: Senaryo-51 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 135
Şekil A. 35: Senaryo-52 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 136
Şekil A. 36: Senaryo-53 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 136
Şekil A. 37: Senaryo-55 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 137
Şekil A. 38: Senaryo-56 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 137
Şekil A. 39: Senaryo-57 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 138
Şekil A. 40: Senaryo-60 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 138
Şekil A. 41: Senaryo-67 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 139
Şekil A. 42: Senaryo-68 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 139
Şekil A. 43: Senaryo-71 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 140
Şekil A. 44: Senaryo-72 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 140
Şekil A. 45: Senaryo-75 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 141
Şekil A. 46: Senaryo-76 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 141
Şekil A. 47: Senaryo-77 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 142

Şekil A. 48: Senaryo-79 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 142
Şekil A. 49: Senaryo-83 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 143
Şekil A. 50: Senaryo-84 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 143
Şekil A. 51: Senaryo-85 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 144
Şekil A. 52: Senaryo-87 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 144
Şekil A. 53: Senaryo-88 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 145
Şekil A. 54: Senaryo-89 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 145
Şekil A. 55: Senaryo-91 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 146
Şekil A. 56: Senaryo-92 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 146
Şekil A. 57: Senaryo-93 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 147
Şekil A. 58: Senaryo-95 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 147
Şekil A. 59: Senaryo-96 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri. 148
Şekil B. 1: Senaryo-3 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 149
Şekil B. 2: Senaryo-4 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 149
Şekil B. 3: Senaryo-5 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 150
Şekil B. 4: Senaryo-7 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 150
Şekil B. 5: Senaryo-8 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 151
Şekil B. 6: Senaryo-9 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 151
Şekil B. 7: Senaryo-11 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 152
Şekil B. 8: Senaryo-12 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 152

Şekil B. 9: Senaryo-13 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 153
Şekil B. 10: Senaryo-15 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 153
Şekil B. 11: Senaryo-16 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 154
Şekil B. 12: Senaryo-19 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 154
Şekil B. 13: Senaryo-20 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 155
Şekil B. 14: Senaryo-23 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 155
Şekil B. 15: Senaryo-24 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 156
Şekil B. 16: Senaryo-25 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 156
Şekil B. 17: Senaryo-27 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 157
Şekil B. 18: Senaryo-28 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 157
Şekil B. 19: Senaryo-29 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 158
Şekil B. 20: Senaryo-31 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 158
Şekil B. 21: Senaryo-32 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 159
Şekil B. 22: Senaryo-35 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 159
Şekil B. 23: Senaryo-36 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 160
Şekil B. 24: Senaryo-37 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 160

Şekil B. 25: Senaryo-39 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 161
Şekil B. 26: Senaryo-40 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 161
Şekil B. 27: Senaryo-41 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 162
Şekil B. 28: Senaryo-43 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 162
Şekil B. 29: Senaryo-44 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 163
Şekil B. 30: Senaryo-45 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 163
Şekil B. 31: Senaryo-47 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 164
Şekil B. 32: Senaryo-48 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 164
Şekil B. 33: Senaryo-51 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 165
Şekil B. 34: Senaryo-52 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 165
Şekil B. 35: Senaryo-53 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 166
Şekil B. 36: Senaryo-55 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 166
Şekil B. 37: Senaryo-56 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 167
Şekil B. 38: Senaryo-57 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 167
Şekil B. 39: Senaryo-60 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 168
Şekil B. 40: Senaryo-67 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 168

Şekil B. 41: Senaryo-68 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 169
Şekil B. 42: Senaryo-71 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 169
Şekil B. 43: Senaryo-72 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 170
Şekil B. 44: Senaryo-75 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 170
Şekil B. 45: Senaryo-76 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 171
Şekil B. 46: Senaryo-77 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 171
Şekil B. 47: Senaryo-79 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 172
Şekil B. 48: Senaryo-83 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 172
Şekil B. 49: Senaryo-84 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 173
Şekil B. 50: Senaryo-85 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 173
Şekil B. 51: Senaryo-87 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 174
Şekil B. 52: Senaryo-88 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 174
Şekil B. 53: Senaryo-89 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 175
Şekil B. 54: Senaryo-91 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 175
Şekil B. 55: Senaryo-92 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 176
Şekil B. 56: Senaryo-93 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 176

Şekil B. 57: Senaryo-95 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 177
Şekil B. 58: Senaryo-96 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri. 177

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1: Grid boyutlarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen ilk 6 senaryo için grid yapısı, grid eleman sayıları ve model çalışma süreleri..... 58
T**ablo 4.2:** Katı madde hareketinin göz önüne alınmadığı 5 farklı çalışmaya ait grid yapısı, grid eleman sayıları ve model çalışma süreleri. 59
T**ablo 4.3:** Sayısal modelleme çalışmalarında kullanılan model parametreleri. 63
T**ablo 4.4:** Sayısal model senaryoları, 1-48 numaralı senaryolar..... 64
T**ablo 4.5:** Sayısal model senaryoları, 49-96 numaralı senaryolar. 65
Tablo 4.6: Askıdaki katı madde miktarları açısından sayısal model sonuçlarının karşılaştırılmaları, 1-24 numaralı senaryolar. 97
Tablo 4.7: Askıdaki katı madde miktarları açısından sayısal model sonuçlarının karşılaştırılmaları, 25-48 numaralı senaryolar. 98
Tablo 4.8: Askıdaki katı madde miktarları açısından sayısal model sonuçlarının karşılaştırılmaları, 48-72 numaralı senaryolar. 98
Tablo 4.9: Askıdaki katı madde miktarları açısından sayısal model sonuçlarının karşılaştırılmaları, 72-96 numaralı senaryolar. 99
Tablo 4.10: Her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık değeri sabit tutularak yüzer cismin hızındaki değişime bağlı olarak meydana gelen askıdaki katı madde miktarlarının karşılaştırılması (küt baş yapılı yüzer cisim). 99
Tablo 4.11: Her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık değeri sabit tutularak yüzer cismin hızındaki değişime bağlı olarak meydana gelen askıdaki katı madde miktarlarının karşılaştırılması (küt baş yapılı yüzer cisim). 100
Tablo 4.12: Her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık değeri sabit tutularak yüzer cismin hızındaki değişime bağlı olarak meydana gelen askıdaki katı madde miktarlarının karşılaştırılması (eğimli baş yapılı yüzer cisim). 100
Tablo 4.13: Her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık değeri sabit tutularak yüzer cismin hızındaki değişime bağlı olarak meydana gelen askıdaki katı madde miktarlarının karşılaştırılması (eğimli baş yapılı yüzer cisim). 101
Tablo 4.14: Her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık ve yüzer cismin çekilme hızı sabit tutularak cismin genişliğinin artması ve yüzer cismin boyunun uzaması durumunda meydana gelen askıdaki katı madde miktarlarının karşılaştırılması (küt baş yapılı y.c.). 101
Tablo 4.15: Her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık ve yüzer cismin çekilme hızı sabit tutularak cismin genişliğinin artması ve yüzer cismin boyunun uzaması durumunda meydana gelen askıdaki katı madde miktarlarının karşılaştırılması (küt baş yapılı y.c.). 102
Tablo 4.16: Her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık ve yüzer cismin çekilme hızı sabit tutularak cismin genişliğinin artması ve yüzer cismin boyunun uzaması durumunda meydana gelen askıdaki katı madde miktarlarının karşılaştırılması (eğimli baş yapılı y.c.). 102
Tablo 4.17: Her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık ve yüzer cismin çekilme hızı sabit tutularak cismin genişliğinin artması ve yüzer cismin boyunun uzaması durumunda meydana gelen askıdaki katı madde miktarlarının karşılaştırılması (eğimli baş yapılı y.c.). 103
Tablo 4.18: Küt ve eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim arasında askıdaki katı madde miktarları açısından karşılaştırma. 103

SEMBOL LİSTESİ

A_C : Kanal enkesit alanı (m^2)
A_S : Gemi enkesit alanı (m^2)
b : Yük kaybı (m)
b_d : Yüzer cismin enkesit alanı (m^2)
C : Askıdaki katı madde konsantrasyonu (kg/m^3)
C_b : Gemi gövde karakteristiklerine dayanan katsayı
CMSC : Sayısal difüzyon sabiti
C_{SOR} : Kaynak terimi
C_z : Gemi gövde karakteristiklerine dayanan katsayı
D : Ortalama derinlik (m)
D : Difüzyon
d : Katı maddenin çapı (m)
d_* : Boyutsuz dane çapı
D_k : Difüzyon katsayısı
d_s : Su çekimi (m)
g : Yer çekimi ivmesi (m/s^2)
G_x : Kütlesel kuvvet ivmesi (m/s^2)
G_y : Kütlesel kuvvet ivmesi (m/s^2)
G_z : Kütlesel kuvvet ivmesi (m/s^2)
F : Froude Sayısı
f_x : Viskoz ivme
f_y : Viskoz ivme
f_z : Viskoz ivme
h : Su derinliği (m)
K : Kısıtlama faktörü
k_s : Eşdeğer pürüzlülük değeri (m)
L : Yüzer cismin uzunluğu (m)
L : Karakteristik uzunluk (m)
L_{pp} : Dikmeler arası mesafe (m)
Re : Reynolds Sayısı
R_{DIF} : Türbülans difüzyonu
RMSC : Schmidt sayısının tersi
R_{SOR} : Kütle kaynağı
S_b : Çökme (squat) (m)
S_c : Schmidt sayısı
S_d : Su seviyesi düşümü (m)
t : Zaman (s)
T : Su yolunun üst genişliği (m)
U : Gemi hızı (m/s)
U_R : Geri dönüş akım hızı (m/s)
U_S : Kontrol hacminin yüzeyindeki akım hızı (m/s)
$U_{R,maks}$: Maksimum geri dönüş akım hızı (m/s)
u_s : Askıdaki katı madde hızı (m/s)
U_W : Sonlu elemanın hareket hızı (m/s)
V : Yüzer cismin hızı (m/s)
V_F : Akışa açık hacim (m^3)
V_s : Gemi seyir hızı (m/s)

z : Su seviyesindeki değişim (m)
Q : Debi (m^3/s)
$\mathbf{q_b}$: Hacimsel katı madde taşınım oranı
x : Gemiden kıyı çizgisine olan uzaklık (m)
$\boldsymbol{\alpha_i}$: Sürüklenme parametresi
$\boldsymbol{\gamma}$: Su derinliği (m)
$\boldsymbol{\gamma}$: Şekil katsayısı
$\boldsymbol{\beta}$: Taban eğimi
$\boldsymbol{\theta}$: Shield Parametresi
$\boldsymbol{\theta_{cr}}$: Kritik Shield Parametresi
$\boldsymbol{\rho}$: Akışkanın yoğunluğu (kg/m^3)
$\boldsymbol{\rho_f}$: Akışkanın yoğunluğu (kg/m^3)
$\boldsymbol{\rho_i}$: Katı maddenin yoğunluğu (kg/m^3)
$\boldsymbol{\xi_i}$: Enerji kayıp katsayısı
$\boldsymbol{\Phi_i}$: Boyutsuz tabandaki katı madde taşınım oranı
$\boldsymbol{\varphi_i}$: İçsel sürtünme açısı (°)
$\boldsymbol{\mu}$: Dinamik viskozite (Pa-s)
$\boldsymbol{\mu_f}$: Akışkanın dinamik viskozitesi (Pa-s)
$\boldsymbol{\tau}$: Kayma gerilmesi (Pa)

ÖNSÖZ

Yaklaşım kanallarında, kapalı koylarda, nehir, kanal gibi iç su yollarında katı madde hareketleri seyir güvenliği, tarama bakım maliyetleri ve çevresel etkiler açısından büyük önem arz etmektedir. Bu doktora tez çalışmasında, düz bir deniz tabanında seyreden motorsuz yüzer bir cismin meydana getirdiği hidrodinamik etkiler ve bu etkilere bağlı morfolojik değişimlerin belirlenmesi hedeflenmiş ve özellikle askıdaki aktı madde konsantrasyonları üzerinde durulmuştur.

Uzun yıllardır iş hayatımla birlikte yürütmeye çalıştığım doktora çalışmalarımı bu doktora tezi ile sonlandırma şerefine nail oluyorum. Bu uzun ve yorucu yolda öğrendiğim, yaşayıp, uğraşıp deneyimlediğim bilgiler benim için inanılmaz değerli. Bu noktada; Kıyı mühendisliği eğitimime başlamamı sağlayan Sayın Prof. Dr. Emel İRTEM'e, eğitim ve özel hayatımda destek ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Nuray GEDİK'e, eğitim ve iş hayatımda engin tecrübe ve bilgilerini esirgemeyen, işin fiziğini öğrenmem için yıllardır teşvik ve destek sağlayan değerli hocam Sayın Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI'ya, uzun yıllardır süren doktora tez çalışmalarımda ve hayatımın her anında destekleri, sabırları ve anlayışları için canım aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Balıkesir, 2022 **Onur BORA**

1. GİRİŞ

Uluslararası deniz taşımacılığı her yıl pozitif bir büyüme sergilemekte ve buna bağlı olarak her yıl deniz trafiğinde önemli bir artış meydana gelmektedir. Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı (UNCTAD) 2019 yılındaki toplam deniz ticaret hacmini 11,08 milyar ton olarak tahmin etmektedir. 2019 yılında başlayan Covid-19 küresel salgınından etkilenen deniz taşımacılığı, 2020 yılında negatif bir büyüme sergilese de UNCTAD deniz ticaretindeki büyümenin 2021 yılında pozitif büyümeye dönmesini ve yüzde 4,3 oranında bir büyümenin gerçekleşmesini beklemektedir. Her yıl büyüme gösteren deniz taşımacılığı, özellikle ticari gemi sayılarında ve gemi boyutlarında da artışın meydana gelmesine neden olmaktadır. Artan gemi boyutları ve gemi sayıları ile birlikte gemilerin sığ sulardaki güvenli seyri ve bu güvenli seyri sağlayacak ihtiyaçları büyük önem kazanmaktadır.

Dalgalar, gemi direnci hesaplamaları, gemi tasarımı ve dolayısıyla gemi yakıt ekonomisinde önemli bir rol oynaması nedeniyle yüzer cisim kaynaklı hidrodinamik etkiler açısından literatürde en çok çalışılan olgudur. Literatürde birçok araştırmacı gemi kaynaklı dalgalar üzerinde çalışmalar gerçekleştirmiş (Osborne ve Boak (1999), Nanson ve diğerleri (1994) vb. gibi) ve bu çalışmalarında gemi kaynaklı dalgaların, gemi tipine, su çekimine, gemi hızı ve yaklaşım kanallarında şevlere olan uzaklıklara bağlı olduğu sonucuna varmışlardır. Doğal ya da yapay yaklaşım kanallarında, nehirlerde, iç limanlara bağlantının sağlandığı suyollarında seyreden yüzer cisimler, birincil ve ikincil dalgalar, geri dönüş akımları, pervane jet akımları gibi çeşitli hidrodinamik etkilere neden olmakta, söz konusu hidrodinamik etkiler ise şevli kanallarda özellikle şev üzerinden ya da deniz tabanından katı maddenin askıya kalkmasına ve deniz tabanında oyulmalara neden olmaktadır. Kapalı ya da korunaklı su yollarında sık seyreden gemiler nedeniyle meydana gelen dalga ve akıntılar, nehir akımı ya da rüzgar dalgası ve akıntıların taban morfolojisi üzerindeki etkilerinin önüne geçebilmektedir. Örneğin Çin'de Jiangsu bölgesinde gemi boyutlarının da her geçen gün artması nedeniyle kanal morfolojisinin gemi kaynaklı hidrodinamik etkilerden oldukça etkilendiği bölgede yapılan ölçümler ile kanıtlanmıştır (Mao ve diğ., 2020). Ayrıca askıya kalkan katı madde nedeniyle meydana gelen bulanıklık balıklar, planktonlar gibi canlıları da olumsuz etkilemektedir. Bunun yanı sıra, gemi ya da yüzer cisimlerin sığ sularda seyri için oluşturulan seyir kanalları, yaklaşım kanalları ya da nehir yataklarının, gemi trafiği ve gemilerin seyrini sağlayacak optimum boyutlarda olması ve oşinografik koşullar veya gemi etkileri nedeniyle erozyona uğramadan olabildiğince stabil bir şekilde kalması, gemilerin

güvenli seyri, başlangıç ve bakım tarama maliyetleri açısından büyük önem arz etmektedir. Örneğin Almanya su yollarında yıllık olarak $40x10^6$ m^3 miktarında tarama yapmak zorunda kalarak yıl içerisinde sadece tarama işlemlerine milyonlarca Euro ödenek ayırmak zorunda kalmaktadır. Bu nedenlerden ötürü gemi ya da yüzer bir cismin meydana getireceği hidrodinamik ve hidromorfolojik etkilerin iyi irdelenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

1.1 Çalışmanın Amacı

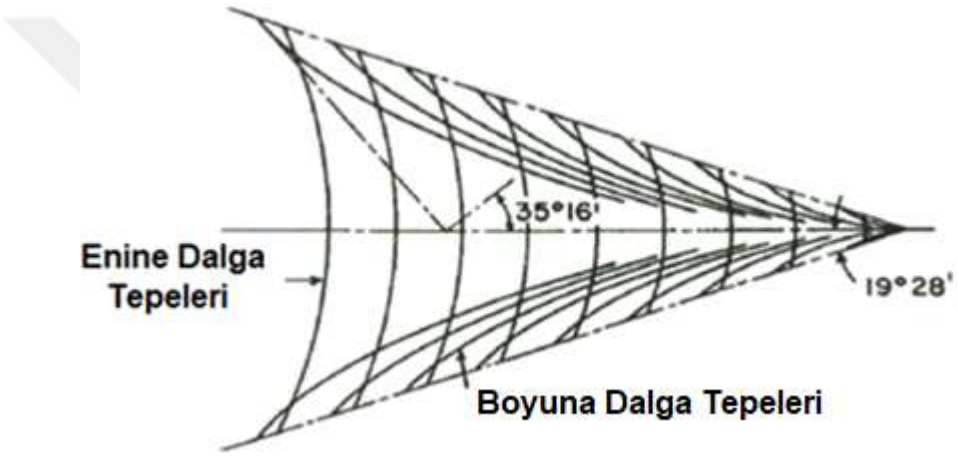
Bu doktora tezi kapsamında, düz bir deniz tabanında seyreden motorsuz bir yüzer cismin meydana getirdiği hidrodinamik etkilerin ve bu hidrodinamik etkilere bağlı denizel ortamda meydana gelen morfolojik değişimlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Belirlenen kriterler doğrultusunda, yüzer cismin geometrisi, hızı, deniz tabanına olan mesafesi ve deniz tabanında yer alan katı maddenin özelliklerine bağlı olarak, yüzer cisim kaynaklı askıya kalkan katı madde konsantrasyonunun belirlenmesi hedeflenmiş, elde edilen değerler ışığında özellikle kapalı koylar, kanallar ve nehirlerde ileriye dönük tahmin edilen oyulma/birikme miktarları ve katı madde konsantrasyonlarının belirlenmesinde tasarımcıların fikir edinmesine yardımcı olunabilmesi amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde doktora tezi kapsamında gerçekleştirilen literatür araştırmalarına yer verilmiş olup, bu araştırmalar yüzer cisim hidrodinamiği, yüzer cisim hareketleri, yüzer cisim kaynaklı su hareketleri, yüzer cisim gövdesi altındaki akım gibi ana başlıkları içermektedir.

2.1 Yüzer Cisim (Mavna) Hidrodinamiği

Yüzer cisim hidrodinamiğinde en önemli parametrelerden biri yüzer cismin su çekimine veya deniz altındaki gövde tasarımına bağlı olmayan Froude sayısıdır. Froude sayısı, suyun atalet kuvvetinin, yerçekimi kuvvetlerine oranı olarak tanımlanabilir. Literatürde iki farklı boyutsuz Froude sayısı kullanılmaktadır. Bunlardan ilki derinlik Froude sayısı (F_h), diğeri ise uzunluk Froude sayısıdır (F_{ls}).



Şekil 2.1: Kelvin dalga yapıları (PIANC, 2003).

Derin denizde seyreden tüm deniz araçları Kelvin tipi dalgalar oluştururlar. Derin denizde dalga boyu dalga hızı ile orantılı olup, daha yüksek bir hızla seyreden gemi (yüzer cisim) daha uzun dalgaların oluşmasına neden olur. Kelvin dalga yapısının oluşumu için en önemli parametre, geminin su hattı uzunluğu ve geminin hızına bağlı olarak verilen uzunluk Froude sayısıdır. Uzunluk Froude sayısı:

$$F_{ls} = \frac{V}{\sqrt{g * L}} \tag{2.1}$$

Bu bağıntıda V, yüzer cismin hızı (m/s), g yerçekimi ivmesi (m/s^2) ve L Yüzer cismin uzunluğudur (m).

Derin denizde uzunluk Froude sayısı 0,4'e eşit olduğunda enine dalgaların dalga boyu gemi boyuna eşit olmaktadır. Geminin baş ve kıç bölgesinde oluşan basınç zirveleri birbirlerini güçlendirirken, gemi omurgasına su basıncı nedeniyle etkiyen net boyuna kuvvet olarak

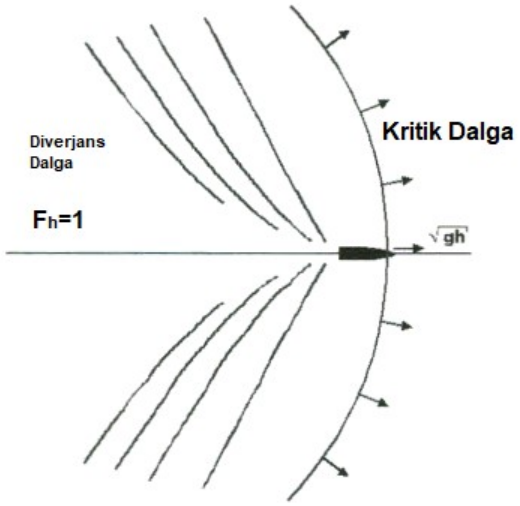
adlandırılan dalga yapma direnci de önemli ölçüde artar (Lewis, 1988). Bu hıza eşik hız sınırı denir ve çoğu "geleneksel" gemiler için keskin bir limit değer, bir bariyer oluşturur. Basitçe, gemi bu bariyerde daha fazla enerji harcayarak devamlı olarak yukarıya doğru hareket etmeye çalışmaktadır. Pratikte direnç eşik hızı, genellikle uzunluk Froude sayısının yaklaşık olarak 0,4 ila 0,6 arasında olduğu durumlar da oluşmaktadır (PIANC, 2003).

Havelock 1908 yılında, sığ suda tek bir nokta kaynak tarafından oluşturulan dalga yapıları üzerine çalışmalar gerçekleştirmiş olup, su derinliği ve gemi hızının bir fonksiyonu olarak sığ sudaki dalga yapısının özelliklerini, derinlik Froude sayısı ile tanımlamıştır. Derinlik Froude sayısı gemi hızının, sığ sudaki dalga yayılım hızına oranı olarak tanımlanmıştır:

$$F_{ls} = \frac{V}{\sqrt{g * h}} \tag{2.2}$$

Burada;
V: Yüzer cismin hızını (m/s),
g: Yerçekimi ivmesini (m/s^2),
h: Su derinliğini (m)
ifade etmektedir.

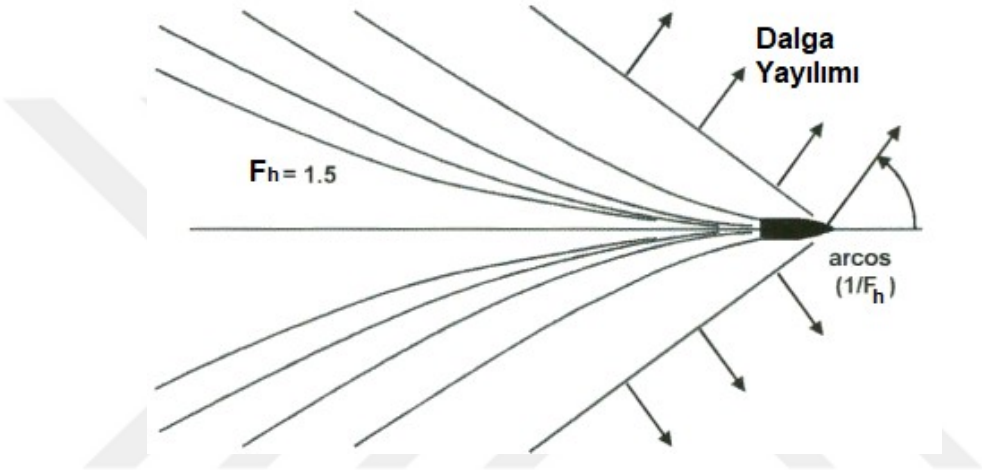
Klasik Kelvin dalga yapısı derinlik Froude sayısının 0,57'den küçük olduğu durumlarda meydana gelmektedir. Boyuna dalgaların boyu, derinlik Froude sayısının büyümesiyle birlikte artış gösterir.



Şekil 2.2: Sabit su derinliğindeki kritik dalga yapısı (PIANC, 2003).

Froude sayısı 1'e yaklaştığında gemi hızı ile o derinlikte meydana gelebilecek maksimum dalga yaklaşma hızı birbirleri ile eşit konuma gelir. Bu hız değeri genellikle kritik hız olarak adlandırılır. Klasik Kelvin dalgalarının oluştuğu bölge genellikle kritik altı bölge olarak adlandırılırken, 0,85 değeri ile 1 arasında kalan bölge kritik hız yakını bölge olarak adlandırılır. Bu bölgede dalga yapısı belirgin bir şekilde değişmeye başlar (PIANC, 2003).

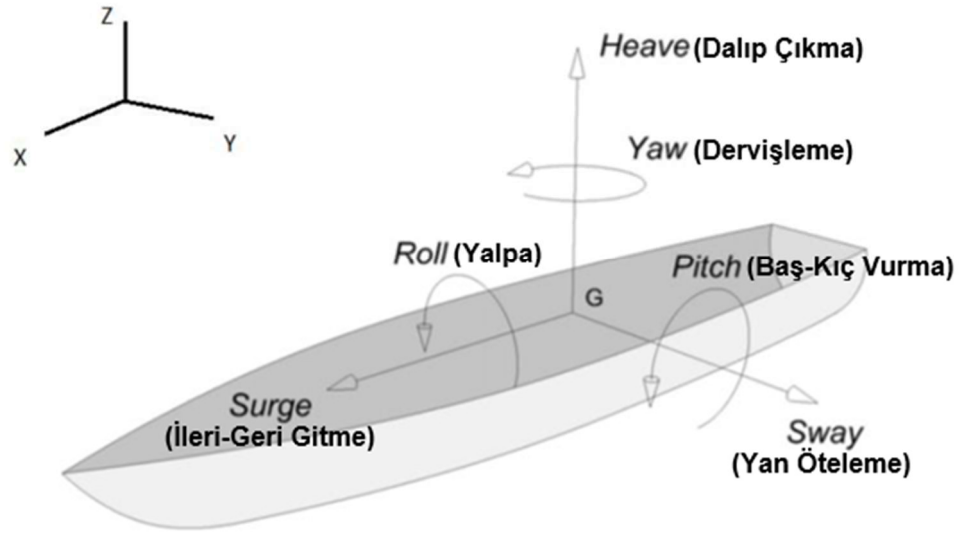
Yüksek derinlik Froude sayılarında boyuna dalgalar yok olmaya başlar. Su derinliği hızlarını sınırladığı için bu noktada boyuna dalgalar gemi ile birlikte hareket edemez. Derinlik Froude sayısının 1'den büyük olduğu bölge kritik üstü hız bölgesi olarak adlandırılır.



Şekil 2.3: Sabit su derinliğindeki kritik üstü dalga yapısı (PIANC, 2003).

2.1.1 Yüzer Cisim Hareketleri

Rijit bir cisim olarak ele alınan yüzen bir yüzer cisim 6 serbestlik derecesine sahip olup, yüzer cisim bu serbestlik derecesinde hareket eder. Rijit cisim dinamiğinde hareketler, kütle merkezi etrafındaki ötelenmeler ve dönmeler olarak tanımlanır. Yüzer bir yüzer cisim için bu hareketler, Şekil 2.4'de gösterilen eksenler referans alınarak; x yönündeki ötelenme "boyuna öteleme" ya da "ileri geri gitme" (xx), y yönündeki ötelenme "yan öteleme" (yy), z yönündeki ötelenme "dalıp çıkma" (zz), x ekseni etrafında dönme "yalpa" (yz), y ekseni etrafında dönme "baş-kıç vurma" (xz) ve z ekseni etrafında dönme "savrulma" (xy) olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.4: Bir yüzer cismin hareket modları (Varela ve Solares, 2011).

Bu hareketlerden dalıp çıkma, baş kıç vurma ve yalpa hidrostatik geri getirme kuvvetine sahip oldukları için rezonans salınım periyodu mevcuttur. Bu rezonans salınım periyodu, dalga gibi çevresel etkenlerin periyoduna yakalanırsa geminin rezonansa geçme riski bulunmaktadır. Bu yüzden bu hareketler diğerlerine göre daha önemlidir.

Yalpa hareketi konvansiyonel gemi tipleri için en çok sorun yaratan hareketlerin başında gelir. Gemi üzerindeki ekipman ve tesisata zarar verebilen yalpa hareketi özellikle yolcu ve mürettebat üzerinde çok etkilidir.

Baş kıç vurma hareketi konvansiyonel gemiler için dalıp çıkma hareketine göre çok daha fazla rahatsızlık ve tehlike unsurudur. Özellikle baştan ve baş omuzluktan gelen dalgalarda baş kıç vurma genliğinin artması gemideki yüke, ekipmana veya mürettebat ve yolcuya zarar verebilecektir. Bu nedenle genellikle gemi kaptanı bu etkileri azaltmak için hız kesmek veya rota değiştirmek zorunda kalacaktır (Kalender, 2011). Dalıp çıkma hareketi konvansiyonel gemi tipleri için genellikle sorun yaratmamaktadır ancak yüzey etkili gemiler gibi hava yastığına sahip gemi tiplerinde gemi ve dalgalar arasındaki karşılaşma frekansının yüksekliğine bağlı olarak dalıp çıkma hareketi rezonansa girmekte ve sorun oluşturmaktadır.

Squat (Çökme)

Seyir halindeki gemi sürekli olarak önündeki suyu iterek suyun gemi yanlarına ve gemi altına doğru yer değiştirmesine neden olur. Gemi altında ve gemi yanlarında hızlanan su, kinetik ve potansiyel enerjinin dengesi nedeniyle Bernoulli prensibine uygun olarak gemi

etrafında bir basınç düşüşüne neden olur. Bu durum aşağı yönde bir kuvvet oluşturarak, ön ve arka dikmelerde ayrı ayrı meydana gelen ya da ortalama çökme ve trim değerleri ile ifade edilen bir yer değiştirme meydana getirir. Bu olaya "squat (çökme)" adı verilir (Briggs ve diğerleri, 2010).

Çökme, geminin hızı arttıkça (belirli bir noktaya kadar) temiz açıklığı azaltma eğilimindedir ve statik durumda geminin altında yeterli derinlikte su bulunmasına rağmen bir geminin sığ suda karaya oturmasına neden olabilir. Çökme derin ve açık denizde de meydana gelebilir fakat sınırlandırılmış veya kapalı sularda daha belirgindir. Çökme nedeniyle temiz açıklıkta meydana gelen azalma gemi manevra kabiliyetini belirgin bir şekilde etkileyerek kontrol kaybına da neden olabilir.

Çökme genel olarak gemi baş bölgesinde meydana gelir ve bu bölgede maksimumdur. Çökme, gemi parametreleri, su yolu parametreleri ve gemi-su yolu tiplerinin birlikte göz önüne alındığı boyutsuz parametrelere bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Gemi parametreleri olarak gemi boyu, genişliği, su çekimi ve bu parametrelerin birbirleri aralarındaki oranları (boyutsuz parametreler), blok katsayısı, gemi seyir hızı ve gemi hacim deplasmanı sayılabilir. Su yolu parametreleri ise kanal tipi, kanal genişliği, derinliği, en kesit alanı, kanal eğimi, taban eğimi, şev eğimi gibi parametrelerden oluşmaktadır. Gemi ve su yolu özelliklerinin birlikte göz önüne alındığı parametrelere ise göreceli derinlik oranı (su derinliği/su çekimi), blokaj faktörü, geri dönüş akım faktörü, derinlik Froude sayısı, kritik gemi hızı sayılabilir (PIANC, 2014).

Maksimum çökme hesabı için PIANC tarafından farklı kanal, gemi ve yük kombinasyonları için gerçekleştirilen fiziksel deneylere ve alan ölçümlerine dayanan yedi farklı ampirik formül önerilmektedir.

Modern gemi çökme hesaplamalarının öncülerinden biri olan Tuck, 1966 yılında kritik üstü ve kritik altı akım durumları için ($0{,}50<F_h<1{,}50$) çökmenin ilk genel kabul görmüş fiziksel tanımlarından birini sunmuştur. Şu an kullanımda olan mevcut metotların çoğu Tuck'ın çalışmalarına dayanmaktadır. Aşağıda Tuck formülü sunulmaktadır:

$$S_{bT} = (C_Z + C_\theta)\frac{\nabla}{L_{pp}^2}\frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1-F_{nh}^2}} \quad (2.3)$$

Burada;

C_z ve C_θ gemi gövde karakteristiklerine dayanan katsayılar olup,

∇ yer değiştiren suyun hacmi,

L_{pp} dikmeler arasındaki mesafeyi,

F_{nh} derinlik Froude sayısını

göstermektedir.

Huuska/Guliev metodu 1976 yılında geliştirilen bir metot olup Tuck (1966)'nın teorisine dayanmaktadır. İlk olarak Huuska tarafından geliştirilen formül, Guliev tarafından kanallarda kullanılabilir hale getirilerek geliştirilmiştir. Aşağıda Huuska/Guliev tarafından geliştirilen denklem sunulmaktadır:

$$S_b = 2{,}4\frac{\nabla}{L_{pp}^2}\frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1-F_{nh}^2}}\left(7{,}45\left(\frac{A_S}{A_C}\right)+0{,}76\right) \quad (2.4)$$

Burada;

S_b gemi baş bölgesindeki çökmeyi (m),

∇ yer değiştiren suyun hacmi (m^3),

L_{pp} dikmeler arasındaki mesafeyi,

A_C kanal enkesit alanı (m^2),

A_S gemi enkesit alanı (m^2),

F_{nh} derinlik Froude sayısını göstermektedir.

Bu metot $1{,}1 \leq \frac{h}{T} \leq 2{,}0$ ve $F_{nh} \leq 0{,}70$ olduğu durumlarda geçerli olmaktadır.

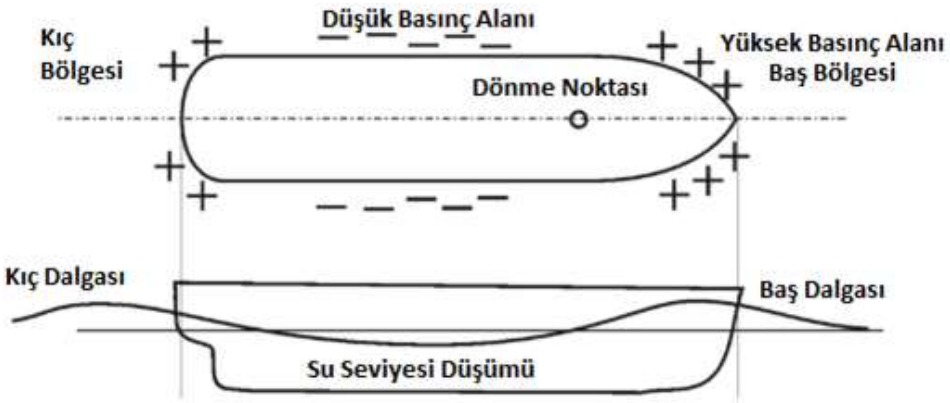
PIANC tarafından sunulan yedi farklı basit ampirik formülün haricinde son yıllarda daha çok tercih edilmeye başlanan daha karmaşık parametrelere sahip çökme hesaplama yöntemleri mevcuttur. Örneğin Ankudinov (2011) tarafından geliştirilen çökmeyi hesap edebilen gelişmiş bir bilgisayar modeli mevcuttur.

2.1.2 Yüzer Cisim Kaynaklı Su Hareketleri

Seyir halindeki gemi, hidrodinamik bakış açısıyla değerlendirildiğinde sabit duran bir cisim etrafındaki akım ile benzerlik göstermektedir (Schiereck, 2001). Bir akışkan içerisinde

ilerleyen gemi genellikle üç farklı su hareketi meydana getirir. Bunlar birincil su hareketleri, ikincil su hareketleri ve pervane jet akımlarıdır. Birincil su hareketleri geminin yer değiştirdiği su ile alakalı olup geri dönüş akımları ve su seviyesinde azalma (özellikle kanal gibi sınırlandırılmış alanlarda belirgin şekilde) gibi durumları içerir. İkincil su hareketlerine ise, baş ve kıç kısımlarında yer alan, birlikte hareket eden ve dalga oluşturan basınç merkezleri, alanları neden olmaktadır. Pratikte birincil su hareketleri nedeniyle meydana gelen dalgalar derinlik/uzunluk oranına bağlı olarak uzun veya kısa olabilirken, ikincil dalgalar ise yüksek hızlı gemilerin ürettiği dalgalar haricinde pratikte her zaman kısadır. Gemi en kesit blokaj değerinin kayda değer bir şekilde yüksek olduğu su yollarında (kanal gibi), birincil su hareketleri baskındır (Schiereck, 2001).

Genellikle alçalma (drawdown) olarak bilinen birincil su hareketleri gemi gövdesi boyunca meydana gelen hız ve basınç farklılıklarından meydana gelir. Basınç, geminin baş ve kıç bölgesinde suyun bu bölgelerde yükselmesinden dolayı yüksek iken geminin orta kısımda daha düşüktür. Bu basınç değişimi dolayısıyla su seviyesi farkı, geminin baş kısmından başlayıp gemi boyunca alçalan ve geminin sonunda kıç dalgasına dönüşen bir dalga sisteminin oluşmasına neden olur. Hareket halindeki gemi, dalga nedeniyle meydana gelen direnci yenmek için gemi önündeki su kütlesine enerji aktarımında bulunur, bu enerji ise geminin önünden arkaya doğru yer değiştiren bir dönüş akımına (return flow) neden olmaktadır. Su seviyesindeki alçalma açık denizde ihmal edilebilir boyutlarda olabilirken, özellikle kanal gibi sınırlandırılmış su yollarında taban ve kanal şevlerinde en önemli dalga bileşeni olabilmektedir.

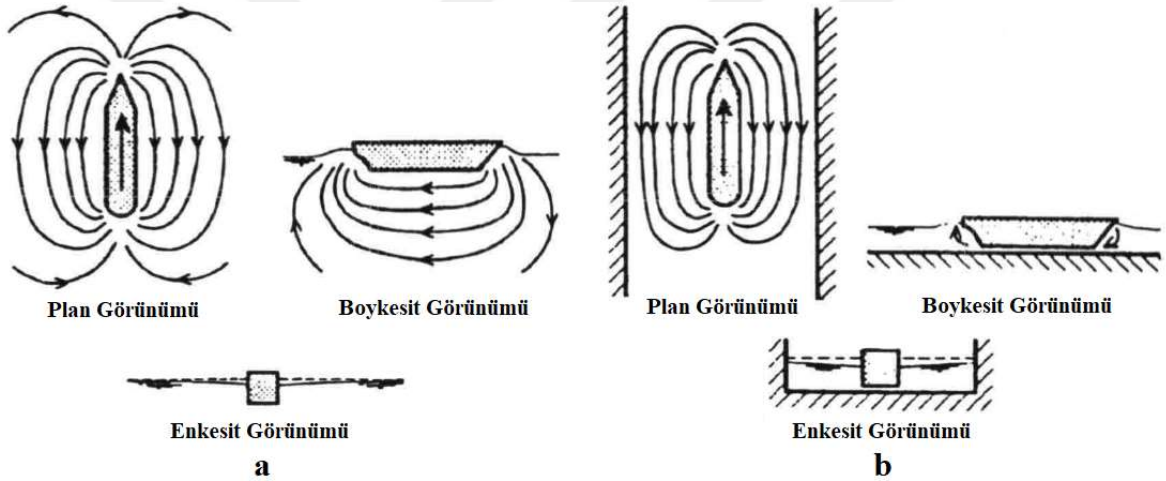


Şekil 2.5: Gemi omurgası etrafında meydana gelen basınç dağılımları (Lenselink, 2011).

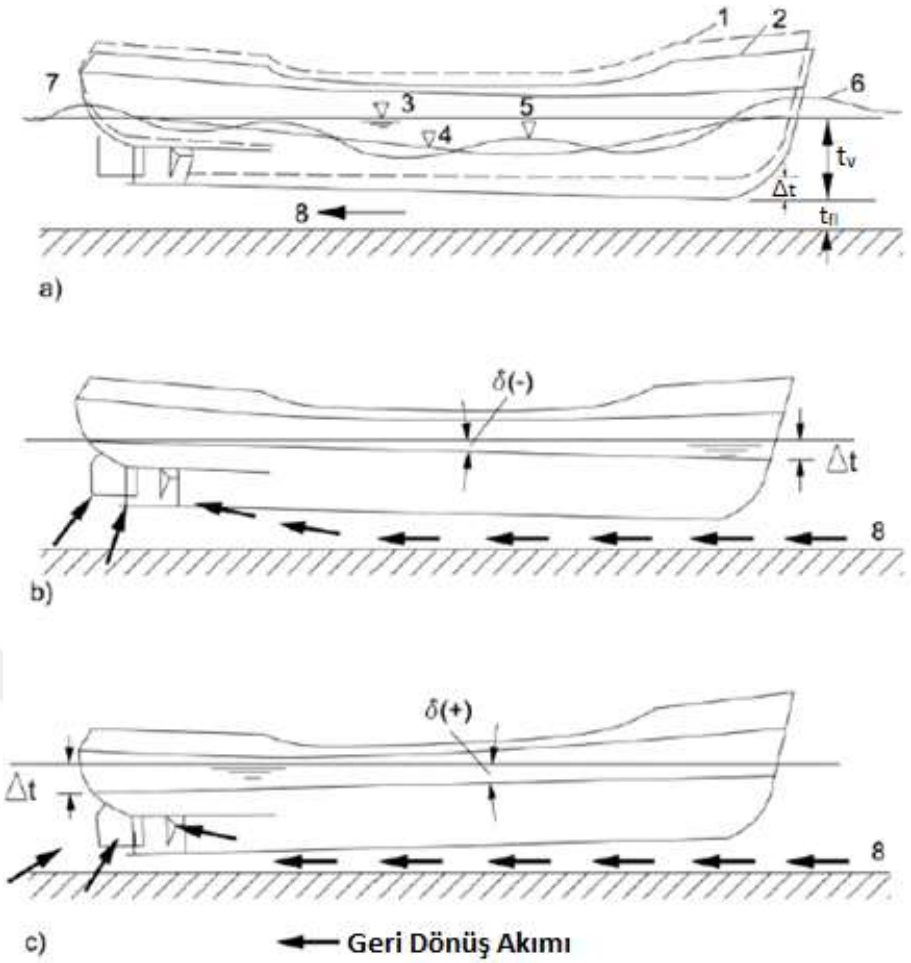
(a) (b)

Şekil 2.6: (a) Patria isimli geminin Garn ölçüm istasyonuna seyri; (b) Seyir sonrası birincil dalgaların kıyıdaki durumu (Larson ve diğerleri, 2017).

Gemi seyri sırasında gemi etrafında oluşan akım üç boyutlu bir akım olup 2 boyutlu olarak kabaca Şekil 2.7'deki gibi gösterilebilir.



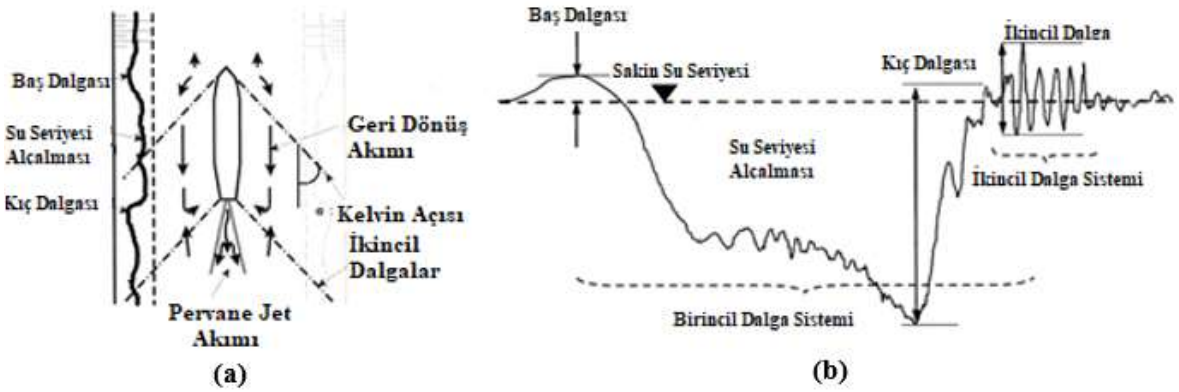
Şekil 2.7: (a) Açık denizde (sınırlandırılmamış alan) ve (b) kanal içerisinde (sınırlandırılmış alan) gemi etrafında meydana gelen akım koşulları (Kuhn, 1985).



Şekil 2.8: Tipik bir içdeniz gemisi için seyir doğrultusunda meydana gelen su seviyesi değişimleri, squat (çökme) ve geri dönüş akımları (Kuhn, 1985).

Şekil 2.8 (a)'da gemi kaynaklı dalgalar ve su seviyesindeki değişimler gösterilmektedir. Buna göre 1 geminin hareketsiz olduğu durumu, 2 geminin hareket halinde olduğu durumu, 3 sakin su seviyesini, 4 alçalmış su seviyesini (birincil dalga), 5 süperpoze olmuş ikincil dalgayı, 6 baş swelini, 7 kıç dalgasını, 8 geri dönüş akımını, Δt çökmeyi, t_{fl} dinamik temiz açıklığı ve t_v geminin hareket halindeki su çekimini (draft) göstermektedir.

(b) δ(-) trim açılı baş kısmı daha ağır, (c) δ(+) trim açılı kıç kısmı daha ağır olduğu durumu göstermektedir (b ve c'de su seviyesindeki değişiklikler gösterilmemiştir).



Şekil 2.9: (a) Seyir halinde gemi etrafında meydana gelen birincil ve ikincil su hareketleri, (b) kritik altı hızda seyreden bir geminin meydana getirdiği dalga sistemleri (Roo, 2010).

Birincil su hareketleri aşağı yukarı negatif solitary dalga özelliklerini yansıtırken, ikincil su hareketleri (dalgaları) bir dizi periyodik dalgadan yani bir dalga treninden oluşmaktadır (Schiereck, 2001). İkincil dalgalar, gemi profilindeki süreksizlikler nedeniyle oluşan basınç alanlarından kaynaklanır. Bu süreksizlikler geminin baş ve kıç bölgelerinde bulunur ve dalga bu bölgelerden yayılır. Baş dalgası, kıç dalgasına oranla genellikle baskın olur. Kapalı ya da yarı kapalı su yollarında, iç sularda, geleneksel gemilerin motorları ve kanalların sınırlı genişliği ve derinliği düşük gemi hızlarına izin verdiğinden, ikincil dalgalar geri dönüş akımlarının neden olduğu birincil dalgalarına (su seviyesi alçalmalarına) nazaran nispeten küçük olmaktadır. Diğer bir yandan açık denizde ve çoğu nehirde gemilerin blokaj faktörleri genellikle düşük olduğundan, su seviyesindeki en belirgin değişiklikleri ikincil dalgalar oluşturur (Bouwmeester ve diğerleri, 1977).

İkincil dalga sistemi enine dalgalar (transverse wave) ve diyagonal (boyuna) dalgalar (divergent wave) olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Şekil 2.10: Enine ve boyuna dalgalar.

Birincil ve ikincil dalgaların yanı sıra pervane kaynaklı jet akımları da gemi seyri kaynaklı su hareketleri açısından önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Bu doktora tezi kapsamında

motorsuz bir yüzer cismin hareketleri neticesinde meydana gelen akımlar göz önüne alındığından bu çalışma içerisinde pervane jet akımı ve bu jet akımı kaynaklı katı madde hareketleri göz önüne alınmamıştır.

2.1.3 Birincil Dalga Sistemindeki Su Seviyesi Alçalmasının Ampirik Hesaplama Yöntemleri

Yüzer bir cisim su içerisindeki hareketinde önündeki suyu iki yanına ve kendi altına doğru iterken aynı zamanda arkasında açık bir alan bırakarak anlık olarak suyun her yönden akarak bu boşluğu doldurmasına neden olur. Bunun yanında, gemi gibi motorlu bir yüzer cisim mevcutsa gemi kıç kısmında yer alan pervanenin meydana getirdiği dönüş hareketi ile yüzer cismin altından büyük miktarda su çekimi meydana gelir. Tüm bu akım koşulları yüzer cismin etrafındaki akımın hızlanmasına neden olur. Akım hızındaki bu hızlanış bir basınç düşüşüne neden olur, yani suyun kinetik enerjisi artarken aynı zamanda potansiyel enerjisinde de bir düşüş meydana gelir. Potansiyel enerjideki ve basınçtaki bu düşüş fiziksel olarak su seviyesindeki düşüş olarak kendini gösterir. Tüm akım alanında meydana gelen bu su seviyesi düşüşü daha önce de açıklandığı üzere "su seviyesi alçalması" olarak tanımlanır. Aşağıda sunulan ampirik hesaplama yöntemleri Almström ve Larson, 2020'den alıntılanmıştır.

a) <u>Bhowmik Metodu</u>

Nehir gibi kapalı ya da sınırlandırılmış alanda seyir halinde meydana gelen su seviyesi alçalması Bhowmik (1981) tarafından önerilen denklem (2.5) ile hesaplanabilir. Bu denklem Illinois ve Mississippi nehirlerinde yapılan ölçümlere dayanmaktadır.

$$\Delta h = 1{,}03\frac{V^2}{2g}\left(\frac{b_d}{A_c}\right)^{0{,}81}\left(\frac{L_{pp}}{Z}\right)^{0{,}31} \tag{2.5}$$

Burada:

A_c: Kanal enkesitinin alanı,

b_d: Yüzer cismin enkesitinin alanı,

Lpp: Gemi uzunluğu,

z: Gemi ile kıyı çizgisi arasındaki mesafe.

b) <u>Shijfs Metodu:</u>

$$1 = \frac{A_s}{A_c} + \frac{S_D}{D} - \frac{1}{\sqrt{1+\frac{2gS_D}{U^2}}} \tag{2.6}$$

Burada:

S_D: Su seviyesi düşümü,

D: Ortalama derinlik,

A_s: Geminin batmış enkesit alanı,

A_C: Su yolunun enkesit alanı,

g: Yerçekimi ivmesi,

U: Gemi hızını

göstermektedir.

c) <u>Hochstein Metodu</u>

Birimler İngiliz ölçü sistemindedir.

$$S_D = U^2(a-1)\frac{B_1}{2g} \tag{2.7}$$

$$a = \left(\frac{A_C}{A_C - A_S}\right)^{2,5} \; ve \; B_1 = \begin{cases} 0{,}3e^{\frac{1{,}8U}{K\sqrt{gD}}} \leq 0{,}65 \\ 1{,}0\frac{U}{K\sqrt{gD}} > 0{,}65 \end{cases} \tag{2.8}$$

Burada:

S_D: Su seviyesi düşümü,

D: Ortalama derinlik,

A_s: Geminin batmış enkesit alanı,

A_C: Su yolunun enkesit alanı,

g: Yerçekimi ivmesi,

U: Gemi hızını,

K: Kısıtlama faktörü (Blokaj oranı ve gemi uzunluğunun gemi genişliğine oranının bir fonksiyonu)

ifade etmektedir.

d) <u>Gelencser Metodu:</u>

$$S_D = 2.10^{-6}\left(\left(UA_S\frac{L^2}{x\sqrt{A_C}}\right)^{1/3}\right)^{2,8} \tag{2.9}$$

Burada:

S_D: Su seviyesi düşümü,

L: Gemi boyu,

A_s: Geminin batmış enkesit alanı,

A_C: Su yolunun enkesit alanı,

x: Gemiden kıyı çizgisine olan uzaklık,

U: Gemi hızını

göstermektedir.

e) <u>Dand ve White Metodu:</u>

$$S_D = 8{,}8\left(\frac{A_C}{A_S}\right)^{-1{,}4}\frac{U^2}{2g} \tag{2.10}$$

Burada:

S_D: Su seviyesi düşümü,

A_S: Geminin batmış enkesit alanı,

A_C: Su yolunun enkesit alanı,

g: Yerçekimi ivmesi,

U: Gemi hızını

göstermektedir.

f) <u>Maynord Metodu:</u>

Eğer x/T 0 ile 0,5 arasında ise:

$$S_D = \left(\frac{\left(U+\left(\left(U\frac{A_C}{A_C-A_S}-U\right)\left(1{,}9-1{,}29\frac{U}{U_L}\right)\right)\right)^2}{2g}-\frac{U^2}{2g}\right)\left(1{,}65-1{,}3\frac{x}{T}\right)\sqrt{0{,}75\left(\frac{A_C}{A_S}\right)^{0{,}18}}\,e^{3ln\frac{1}{0{,}75\left(\frac{A_C}{A_S}\right)^{0{,}18}}} \tag{2.11}$$

Eğer x/T 0,5 ile 1 arasında ise:

$$S_D = \left(\frac{\left(U+\left(\left(U\frac{A_C}{A_C-A_S}-U\right)\left(1{,}9-1{,}29\frac{U}{U_L}\right)\right)\right)^2}{2g}-\frac{U^2}{2g}\right)\left(1{,}35-0{,}7\frac{x}{T}\right)\sqrt{0{,}75\left(\frac{A_C}{A_S}\right)^{0{,}18}}\,e^{3l\frac{1}{0{,}75\left(\frac{A_C}{A_S}\right)^{0{,}18}}} \tag{2.12}$$

$$U_L = \sqrt{2gD\left(\frac{A_S}{A_C}+1{,}5\left(\frac{U_L^2}{gD}\right)^{1/3}-1\right)} \tag{2.13}$$

Burada:

S_D: Su seviyesi düşümü,

A_S: Geminin batmış enkesit alanı,

A_C: Su yolunun enkesit alanı,

g: Yerçekimi ivmesi,

T: Su yolunun üst genişliği,

x: Geminin kıyıya olan uzaklığı,

D: Ortalama derinlik,

U: Gemi hızını

göstermektedir.

g) <u>Kriebel ve diğerleri:</u>

Eğer x/T 0 ile 0,5 arasında ise:

$$S_D = d_s(0{,}0026C_B - 0{,}001)e^{(\frac{-215{,}8d_S}{L}+26{,}4)\frac{u}{\sqrt{gL}}e^{\frac{2{,}35(1-C_B)d_S}{\gamma}}} \quad (2.14)$$

Burada:

S_D: Su seviyesi düşümü,

d_s: Su çekimi,

C_B: Gemi blok katsayısı,

L: Gemi boyu,

g: Yer çekimi ivmesi,

γ: Su derinliği,

U: Gemi hızını

göstermektedir.

h) <u>Rock Manual Metodu:</u>

Eğer x/T 0 ile 0,5 arasında ise:

$$S_D = \frac{U^2}{2g}\left(\left(1{,}4 - 0{,}4\frac{U}{F_L\sqrt{gd}}\right)\left(\frac{A_C}{A_C - A_S - S_D T}\right)^2 - 1\right) \quad (2.15)$$

$$F_L = \left(\frac{2}{3}\left(1 - \frac{A_S}{A_C} + 0{,}5F_L^2\right)\right)^{3/2} \quad (2.16)$$

Burada:

S_D: Su seviyesi düşümü,

D: Ortalama derinlik,

A_C: Su yolunun enkesit alanı,

A_S: Geminin enkesit alanı,

g: Yer çekimi ivmesi,

T: Su yolunun üst genişliği,

U: Gemi hızını

göstermektedir.

2.1.4 Geri Dönüş Akımının Ampirik Hesaplama Yöntemleri

Geri dönüş akımlarının matematiksel olarak hesaplanmasında günümüze kadar birçok yöntem belirlenmiş ve bazıları sıklıkla kullanılmaya devam edilmiştir. Bu yöntemler

arasında ampirik ifadeler olmakla birlikte bir boyutlu ve üç boyutlu karmaşık sayısal modeller de bulunmaktadır. Bu tez kapsamında, enerjinin korunumu ilkesine dayanan Schijf (1949) ve momentumun korunumu ilkesine dayanan Bouwmeester (1977) metotları kısaca incelenmiştir.

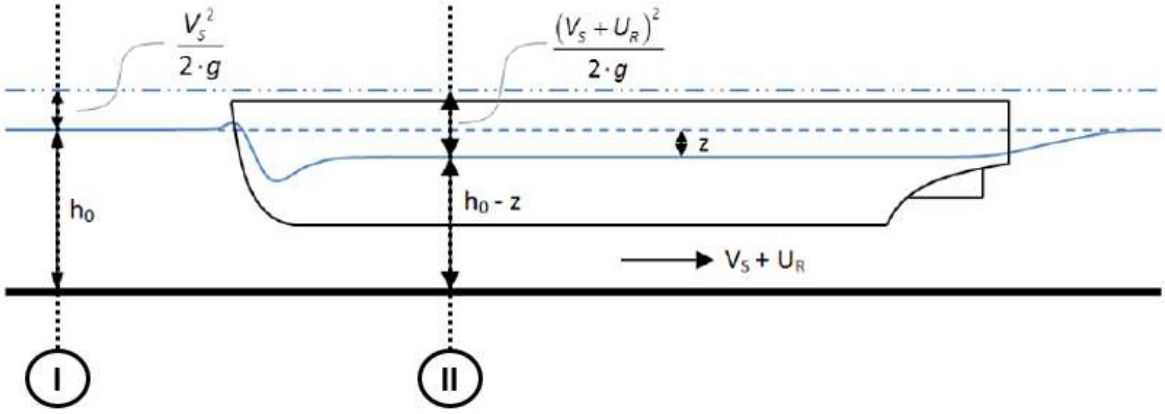
a) Schijf Metodu

Schijf (1949) ve Jansen ve diğerleri (1953) enerjinin korunumu ilkesini baz alarak birincil su hareketlerini matematiksel olarak ifade etmişlerdir. Schijf bu metotta sadece su seviyesi değişim miktarını ve geri dönüş akımını matematiksel olarak hesaplamak ile kalmayıp aynı zamanda pervanesi kendinden monteli gemiler için doğal seyir limit hızını bulmuştur. Schijf'ye göre geri dönüş akımının kritik değere (F=1) ulaşması ile birlikte gemi doğal seyir limit hızına ulaşmış sayılmaktadır. Geminin hızının bu değeri aşması ile birlikte geri dönüş akımları kritik üstü (F>1) değerine ulaşacak ve buna bağlı olarak gemi boyunca su seviyesinde sert bir düşüş meydana gelecek ve bu akım hızının daha da artmasına neden olacaktır. Sonuç olarak gemi baş kısmındaki yükselen su seviyesi daha da artacak ve buna bağlı olarak geminin aynı hızda seyrini sürdürebilmesi için harcayacağı enerji miktarı da artacaktır. Bu artış geminin daha fazla yakıt tüketmesine neden olacağından geminin seyrini ekonomik olmaktan çıkaracaktır (Robijns, 2014).

Bu metotta üç boyutlu geri dönüş akımı basitçe bir boyutlu akıma çevrilmiştir. Metot enerjinin korunumu (Bernoulli prensibi) ve süreklilik denklemine dayanmaktadır. Bunun için aşağıda yer alan kabuller göz önüne alınmıştır:

- Düz ve sonsuz uzunlukta prizmatik bir kanal ön görülmüştür,
- Gemi sabit bir hızla seyretmektedir,
- Geminin yanlarında ve altındaki geri dönüş akımı üniform akım kabul edilmiştir,
- Kanalın toplam genişliği boyunca su seviyesindeki değişim aynı kabul edilmiştir,
- Gemi triminin olmadığı kabul edilmiştir,
- Enerji kaybının olmadığı kabul edilmiştir; kayma gerilmeleri ve atalet kuvvetleri kaynaklı,
- Gemi tarafından başlatılan gemi dalgalarının etkisi ihmal edilmiştir.

Gemi üzerinde sabit olarak alınan koordinat sistemi üzerinde (eksen gemi ile birlikte hareket etmektedir) sakin durumda geminin bulunmadığı (1) numaralı en kesit ile geminin ortasında tanımlı (2) numaralı en kesit arasında Bernoulli denklemi ve süreklilik denklemi yazıldığında sırasıyla denklem 2.5 ve denklem 2.6 elde edilebilmektedir. 1 ve 2 numaralı kesitler Şekil 2.11'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11: Schijf metodu ve gemiye sabitlenmiş koordinat sistemi (Robijns, 2014).

$$h_0 + \frac{(V_S - U_0)^2}{2 \cdot g} = (h_0 - z) + \frac{(V_S - U_0 + U_R)^2}{2 \cdot g} \tag{2.5}$$

$$Q = (V_S - U_0) \cdot A_C = (V_S - U_0 + U_R) \cdot (A_C - A_S - B \cdot z) \tag{2.6}$$

Burada:

Q= Debi değerini (m^3/s),

U_0= Ortamdaki (deniz, nehir vb. gibi) akım hızını (m/s),

A_C= Kanal enkesit alanı (m^2),

h_0= sakin su seviyesi (m),

V_S= Gemi seyir hızı (m/s),

U_R= Geri dönüş akım hızı (m/s),

A_S= Gemi enkesit alanı (m^2),

z= Su seviyesindeki değişim (m),

Denklem 2.5 ve 2.6 birlikte göz önüne alınıp, Froude sayısı 1 alındığında limit hız değerini denklem 2.7'deki gibi elde edilebilir.

$$1 - \frac{A_S}{A_C} + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{V_{lim}}{\sqrt{g \cdot h}}\right)^2 - \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{V_{lim}}{g \cdot h}\right)^{2/3} = 0 \tag{2.7}$$

Su seviyesindeki değişim değeri ve ger dönüş akımları da denklem 2.8 ve denklem 2.9'un birlikte iteratif olarak çözümü ile bulunabilmektedir:

$$\frac{\alpha \cdot (V_S - U_O + U_R)^2 - (V_S - U_0)^2}{2 \cdot g \cdot h} - \frac{U_R}{(V_S - U_S) + U_R} + \frac{A_S}{A_C} = 0 \tag{2.8}$$

$$z = \alpha \frac{(V_S - U_O + U_R)^2}{2 \cdot g} - \frac{(V_S - U_O)^2}{2 \cdot g} \tag{2.9}$$

Denklem 2.8 ve Denklem 2.9'da yer alan α değeri, Delft Hidrolik tarafından 1953 yılında gerçekleştirilen ölçümlere dayanan ve kanaldaki su seviyesi değişiminin ve geri dönüş

akımının üniform olmayan dağılımının düzeltme faktörüdür. Bu düzeltme faktörü Denklem 2.10 ile elde edilebilmektedir:

$$\alpha = 1{,}4 - 0{,}4 \cdot \frac{V_S}{V_{lim}} \tag{2.10}$$

b) <u>Bouwmeester Metodu</u>

Bouwmeester metodu, momentumun korunumu ilkesine göre, akımın momentumu ile gemiye etkiyen kuvvetler arasındaki dengeye dayanmaktadır. Schijf metoduna göre daha az kullanılmasına rağmen bu metot yardımıyla da güzel sonuçlar elde edilebilmektedir. Yapılan kabullere ve denklem çıkarımına Bouwmeester ve diğerleri, 1977 ya da Verheij ve diğerleri, 2008'den ulaşılabilir.

Geminin baş kısmına etkiyen hidrostatik basınç kuvvetini elde edebilmek amacıyla deneylerden Denklem 2.11 ve Denklem 2.12'de gösterilen bağıntı elde edilmiştir.

$$\eta = C_D \cdot \frac{(V_S - U_0)}{2 \cdot g} \tag{2.11}$$

$$C_D = \gamma \cdot \left(\frac{T}{h}\right)^2 \tag{2.12}$$

Burada:

CD= Direnç katsayısı,

γ= Şekil katsayısı,

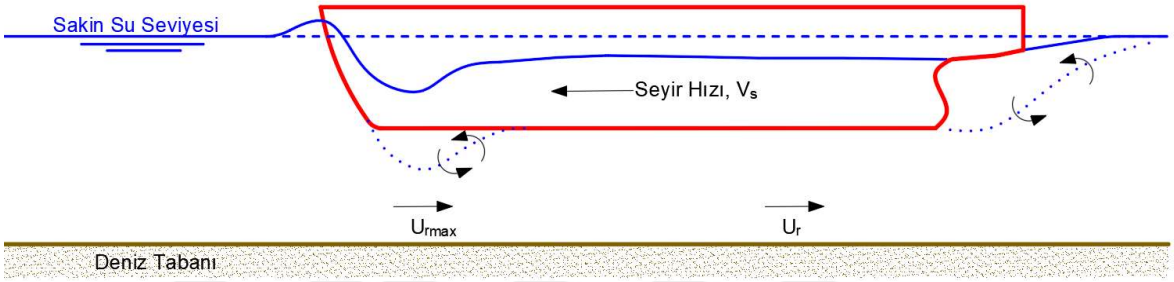
2.2 Gemi Gövdesi Altındaki Akım

Gemi etrafındaki geri dönüş akımları ve su seviyesi alçalması için birçok tahmin metodu bulunmasına rağmen deniz tabanı ve gemi gövdesi altında kalan kısımdaki akımın tahmini için çok az sayıda metot bulunmaktadır. Bir boyutlu yaklaşımlar, seyir hattı en kesiti boyunca geri dönüş akımlarını düzenli kabul etmektedirler. Bu yaklaşımla gemi yanlarındaki akım ile gemi gövdesi altındaki akım özellikleri aynı olduğu kabul edilmektedir. Fakat doğada, gerçekte, geri dönüş akımları üç-boyutlu bir akım olup bu akım, gemi hızına, gemi boyutlarına, şekline, gemi ve deniz tabanı üzerinde oluşan sınır tabakalarına, kanal genişliği, derinliği gibi seyir hattı özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

Gemi gövdesi altındaki akım, deniz tabanı ile gemi arasındaki etkileşimi, geminin akıma, akımın gemi hareketlerine etkilerini ve deniz tabanı değişimini içeren karmaşık yapıda ve birçok parametreye bağlı akımlar olduğundan gemi altındaki akımı tam anlamıyla tahmin edebilen iki ve üç boyutlu sayısal modeller de mevcut değildir. İki ve üç-boyutlu modellerden de sadece birkaçı gemi altındaki akımı tahmin edebilmekte ve bu tahmin de

gemi altındaki maksimum akım hızı ya da genelde gemi baş kısmındaki maksimum akım hızı ile sınırlanmaktadır (Robijns, 2014).

Delft Hidrolik (1987), Maynord (1990) ve Rodriquez ve diğ., (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmalardaki ölçümlere göre geri dönüş akımının, geminin ya da yüzer cismin baş kısmından başlayan ayrılma nedeniyle gemi baş kısmındaki akım çizgilerinin daralarak birbirine yaklaşmasına bağlı olarak baş kısmından hemen sonra arttığı bilinmektedir.



Şekil 2.12: Seyir halindeki bir geminin gövdesi altındaki akım (Robjins, 2014'den alıntılanarak yenilenmiştir).

2.2.1 Couette ve Poiseuille Akımları ile Benzerlik

Hareket halindeki bir gemi gövdesi altındaki akım Couette ve Couette-Poiuseuille akımları ile benzerlik göstermektedir. Couette akımı iki sonsuz uzunluktaki plaka arasında, bir plakanın sabit diğer plakanın ise belirli bir hız ile çekilmesi durumunda meydana gelen bir akım türüdür. Poiuseuille akımında ise Couette akımına oranla tek fark iki plaka arasında boyuna yönde bir basınç gradyanının mevcut olmasıdır. Bu basınç gradyanına bağlı gemi altında tabana dik yönde meydana gelen hız profilinde ise değişim meydana gelecektir. İki plaka arasındaki akım, Reynolds sayısı (Re_{krit}) belirli bir değerin altında kaldığı durumlarda laminer, kritik değeri geçtiği durumlarda ise türbülanslı duruma geçmektedir.

Bir akım, sadece bir hız bileşeni sıfırdan farklı ise ve tüm sıvı parçacıkları aynı yönde hareket ediyorsa paralel akım olarak adlandırılır. Örneğin hız bileşenlerinden sadece u sıfırdan farklı ve v her yerde 0 ise süreklilik denkleminden $\frac{\delta u}{\delta x} = 0$ olur ve bu nedenle u hızı x değerine bağımlı olamaz. Böylelikle paralel akışlar için denklem 2.13'deki ifadeler yazılabilir:

$$u = u(y); v = 0 \qquad (2.13)$$

Viskozitenin sabit, akımın daimi ve sadece (x) yönünde tek yönlü bir akım olduğu kabulü ile denklem 2.14'de verilen Navier-Stokes denklemindeki ivme terimleri ve (y) yönü için

basınç terimi sıfıra eşit olur ve denklemden silinir. (y) yönünde de bir basınç gradyanı bulunmadığından Navier-Stokes denkleminde sadece denklem 2.15'de verilen terimlerin eşitliği kalır.

$$\rho \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \rho \vec{V} \cdot \nabla \vec{V} = -\nabla \rho + \mu \nabla^2 V^2 \tag{2.14}$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \frac{d^2 u}{dy^2} \tag{2.15}$$

Denklem 2.15'de iki bilinmeyenli (u(y) ve p(x)) lineer bir diferansiyel denklem bulunmaktadır. Fakat denklemin sol tarafı sadece x'e sağ tarafı ise sadece y'ye bağlı olduğundan iki taraf da bir sabite eşit olmalıdır. Bu durumda denklem 2.15 ${}^{dp}/_{dx} = C$ ve ${}^{d^2u}/_{dy^2} = C/\mu$ şeklinde iki denklemden oluşur.

İki plaka arasında bir plakanın sabit diğerinin U hızı ile hareket ettiği, aralarındaki mesafenin h olduğu ve x yönünde bir basınç gradyanının $({}^{dp}/_{dx})$ olduğu durum için kaymama sınır koşulundan (no-slip sınır koşulu) hareket etmeyen plaka üzerinde akım hızı sıfır y=0'da u=0, hareket halindeki plaka üzerinde akım hızı plaka hızı ile eşit olacak şekilde y=h'da u=U sınır koşulları denklem 2.15'e uygulandığında 2.16'da gösterilen denklem elde edilir:

$$u = \frac{y}{h} U - \frac{h^2}{2\mu} \frac{dp}{dx} \frac{y}{h} \left(1 - \frac{y}{h}\right) \tag{2.16}$$

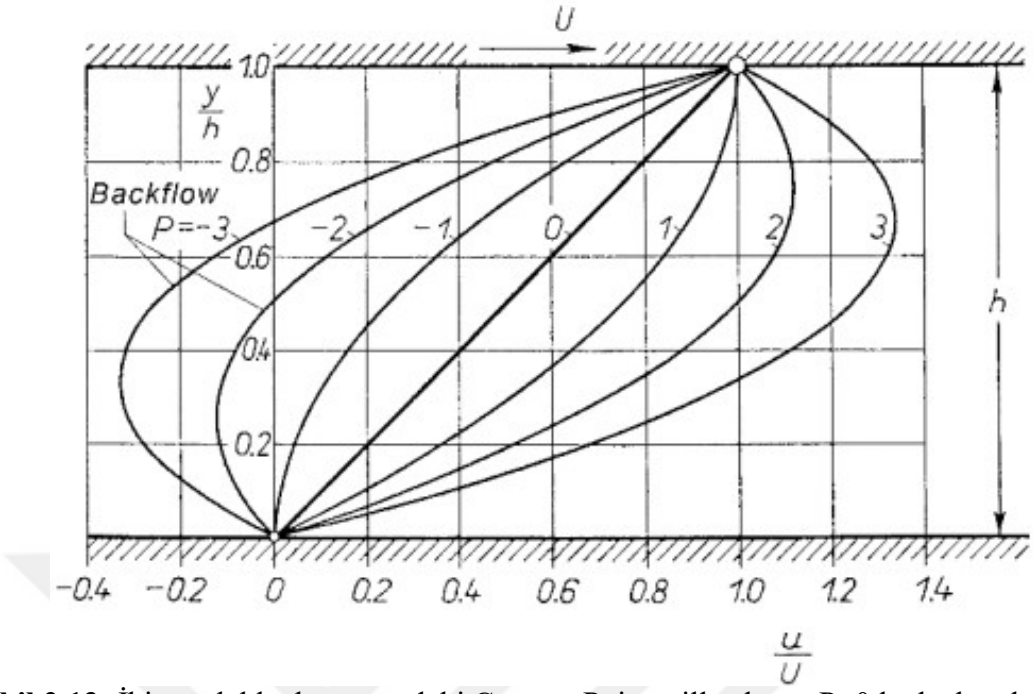
ya da

$$\frac{u}{U} = \frac{y}{h} + P \frac{y}{h} \left(1 - \frac{y}{h}\right) \tag{2.17}$$

Burada P boyutsuz basınç gradyanıdır:

$$P = \frac{h^2}{2\mu U} \left(-\frac{dp}{dx}\right) \tag{2.18}$$

Şekil 2.13'de verilen ve P boyutsuz basınç parametresine göre hazırlanan grafik incelendiğinde P parametresinin 0'dan büyük olduğu durumda akım hızı tüm kanal genişliği boyunca artı değerde olduğu, P parametresinin 0'dan küçük olduğu durumda ise kanal kesitinin bir kısmında eksi değerde (ters akım, backflow) olduğu görülmektedir. Bu durumda, hareket halindeki levha üzerinde meydana gelen sürükleme hareketi ters yönde meydana gelen basınç gradyanının etkisinin üstesinden gelmek için yeterli olamamakta ve basınç gradyanının etkisi ile akım levha hareketine ters yönde hareket etmektedir (Schlichting ve Gersten, 2017).

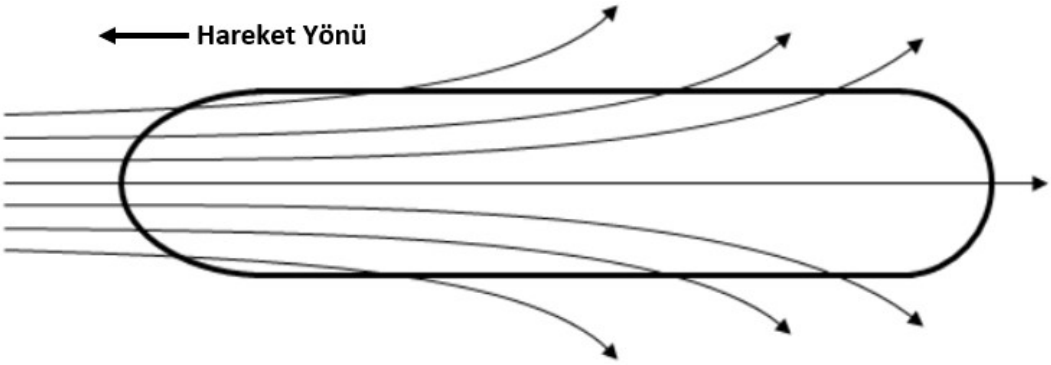


Şekil 2.13: İki paralel levha arasındaki Couette-Poisseuille akımı, P>0 levha hareket yönü doğrultusunda basınç düşümü, P<0 ise levha hareket yönü doğrultusunda basınç yükselişi (Schlichting ve Gersten, 2017).

Coutette-Poiseuille akımı Reynolds sayısının belirli bir değerine kadar laminer belirli bir değerinde sonra ise türbülanslı duruma geçmektedir. Bu sayı kritik Reynolds sayısı olarak adlandırılmaktadır. Couette akımı için Reichardt'ın 1956 yılında yaptığı çalışmalar neticesinde laminer akımdan türbülanslı akıma geçiş için kritik Reynolds sayısını $Re_{krit} = \frac{hU}{\nu} = 3000$ olarak elde etmiştir. Tillmark ve diğerlerinin (1992) yaptığı deneysel çalışmalarda ise laminer akımdan türbülanslı akıma geçiş için bir geçiş Reynolds sayısı tanımlamışlardır. Çalışmada geçiş sayısı $Re_H = 1400 \pm 40$ olarak bulunmuş olup Lundbladh ve Johansson (1991) çalışmasında belirlenen geçiş Reynolds sayısı ($Re_H = 1500$) ile benzerlik göstermektedir (Schlichting ve Gersten, 2017).

2.2.2 Yayılma (Fanning Out) Etkisi

Geri dönüş akımı ve eğer mevcut ise ortamdaki doğal akıntı hızı ile birlikte yüzer cisim altında meydana gelen akım genellikle geminin yanlarına doğru sapma, yayılma eğilimindedir. Bu durum yayılma etkisi (fanning-out) olarak adlandırılmakta olup yüzer cismin şekli ve yüzer cismin yan tarafları ve altındaki potansiyel farkları nedeniyle meydana gelmektedir. Söz konusu yayılma etkisi Şekil 2.14'de gösterilmektedir.



Şekil 2.14: Yayılma (fanning-out) etkisi (Robijns, 2014).

Gemi altında meydana gelen akım etkileri hakkında az sayıda bilgi bulunduğundan yayılma etkisi hakkında da mevcut bilgiler sınırlıdır. Gemi altında meydana gelen maksimum akıntı hızını veren basit formüllerin hiçbirinde sözü edilen etki bulunmamakla birlikte herhangi bir referans da söz edilmemektedir. Lenselink'in 2011 yılında tezi kapsamında yaptığı deneyler sonucunda gemi altındaki akımın baştan kıça doğru gidildikçe azaldığını bulmuştur. Lenselink'in yürüttüğü testlerde çekilen geminin Z ekseni boyunca hareketi kısıtlandığından çökme (squat) etkisi göz önüne alınmamış olup gemi altındaki akımın baştan kıça doğru azalmasının nedeni sadece yayılma etkisi ile açıklanabilecek bir durumdur. Fakat Lenselink deneylerinde geminin orta çizgisi boyunca tanımladığı X-ekseni doğrultusunda meydana gelen deşarj azalmalarına dayanarak bu etkiden söz etmiş olup Y-ekseni boyunca meydana gelen yanal akımlara ait herhangi bir ölçüm gerçekleştirmemiştir. Bu nedenle bu yanal akımlara ait herhangi bir bilgi mevcut değildir. Bu bilgiler ışığında yayılma etkisi ile alakalı daha fazla çalışmanın yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

2.2.3 Gemi Gövdesi Altındaki Maksimum Akım Hızlarının Hesaplama Yöntemleri

Gemi etrafındaki akım değerlerini hesap eden yöntemler bulunmasına rağmen gemi altındaki akım hızlarını doğru bir şekilde hesap eden sınırlı sayıda yöntem mevcuttur. Mevcut yöntemler gemi gövdesi altında meydana gelen maksimum akım hızını hesap etmekte olup bu yöntemler deney verilerine dayanan yöntemlerdir. Gemi gövdesi altında meydana gelen maksimum akım hızını hesap eden iki yaygın formül bulunmaktadır. Bunlar Maynord (1990) ve WL/Delft Hidrolik (1987) metodudur. Stolker ve Ferheij, 2006'daki çalışmalarında bu iki ampirik ifadeye dayanan, Değiştirilmiş Maynord Formülü, Fiziksel Tabanlı Model ve Fonksiyonel Bağıntı adı altında üç yeni metot tanıtmışlardır (Robijns, 2014). Bu metotlar haricinde Führer ve Römisch tarafından geliştirilen ayrı bir formül daha bulunmaktadır.

a) WL/Delft Hidrolik Formülü (1987)

WL/Delft Hidrolik tarafından bir araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilen ölçümlere dayanan ve gemi baş kısmının altında meydana gelen maksimum geri dönüş akımını hesap etmektedir. Bu formül;

$$U_{R,maks} = (1{,}5\sim2)U_R \tag{2.19}$$

Burada U_R, Schijf formülü ile hesap edilen kesitsel ortalama geri dönüş akım hızını (m/s) ifade etmektedir.

b) Maynord (1990)

Maynord tarafından 1990 yılında 1:20 ölçekli yüzer cismin çekme testleri yapılarak seyir halindeki bir yüzer cismin gövdesi altında meydana gelen maksimum geri dönüş akımını belirleyen bir formül elde edilmiştir. Maynord çalışmalarında gemi altında meydana gelen akım hızının genel olarak su derinliği, gemi su çekimi ve seyir hızına bağlı olduğunu bunun yanı sıra gemi altındaki akım hızının kanal genişliği ve geri dönüş akımlarından nispeten bağımsız olduğunu belirlemiştir. Formül 2.20'de gösterilmektedir:

$$\frac{U_{R,maks}}{V_S} = 0{,}16\left(\frac{B_S}{h}\right)^{0{,}54}\left(\frac{T}{h}\right)^{0{,}68} \tag{2.20}$$

Bu formül, $\frac{h}{t} \geq 1{,}6$ ve $\frac{A_C}{A_S} \geq 6$ arasında geçerlidir.

c) Fiziksel Tabanlı Model (2006) (Physically based model)

Stolker ve Ferheij (2006), çalışmalarında Rigter'in 1989 yılındaki yayınlanmayan çalışmalarına dayanarak bu formülü elde etmişlerdir. Bu metotta gemi altındaki akım, seyir hızı, ortamdaki akım hızı, temiz açıklık ve baş kısmındaki daralma durumuna bağlı olarak:

$$U_{R,maks} = \left|(V_s - U_R)\left(\frac{1-\mu\kappa}{\mu\kappa}\right) - U_R\right| \tag{2.21}$$

Burada;

κ: Boyutsuz temiz açıklık ve μ: Daralma katsayısını ifade etmektedir.

Boyutsuz temiz açıklık Denklem 2.22~2.24 kullanılarak hesaplanabilmektedir. Ayrıca daralma katsayısı deneysel olarak kalibre edilmiş Denklem 2.25 kullanılarak elde edilmektedir.

$$U_{R,maks} = \left|(V_s - U_R)\left(\frac{1-\mu\kappa}{\mu\kappa}\right) - U_R\right| \tag{2.21}$$

$$\kappa = \kappa_0 - \frac{(U_R - V_S)^2}{2gh_0}\left(\frac{\xi_i + 1 + \kappa^2}{\kappa^2}\right) \tag{2.22}$$

$$\kappa_0 = \frac{A_C - A_S}{A_C} \tag{2.23}$$

$$\xi_i = \left(\frac{1-\mu}{\mu}\right)^2 \tag{2.24}$$

$$\mu = 1 - 0{,}54\left(\frac{h}{T}\right)^{-1{,}5}(V_S - U_R)^{-0{,}18} \tag{2.25}$$

Burada

κ_0: Durgun haldeki boyutsuz temiz açıklığı ve ξ_i: Enerji kayıp katsayısını ifade etmektedir.

d) <u>Fonksiyonel Bağıntı (2006) (Functional relation)</u>

Stolker ve Ferheij (2006) tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışma sonucu elde edilen bir denklemdir. Gemi baş bölgesi altındaki akım:

$$U_{R,maks} = U_R\left(1 + 0{,}041\left(\frac{h-T}{h}\right)^{-1{,}52}\left(\frac{V_S - U_R}{\sqrt{g(h-T)}}\right)^{-1{,}07}\left(\frac{A_C}{A_S}\right)^{0{,}81}\right) \tag{2.26}$$

e) <u>Değiştirilmiş Maynord Denklemi (2006)</u>

Stolker ve Ferheij (2006), Maynord denklemini başka bir veri seti kullanarak tekrar kalibre etmiştir. Bunun sonucunda Değiştirilmiş Maynord Denklemi:

$$\frac{U_{R,maks}}{V_S} = 1{,}07\left(\frac{B_S}{h}\right)^{0{,}08}\left(\frac{T}{h}\right)^{1{,}82} \tag{2.27}$$

f) <u>Führer ve Römisch (1977)</u>

Maynord (1990)'da gemi altındaki geri dönüş akımını hesap eden Führer ve Römisch denklemi sunulmaktadır. Buna göre gemi altındaki geri dönüş akım hızı:

$$\frac{U_{R,maks}}{V_S} = \frac{h-T}{h-T-z}\left(1{,}11 + 5{,}25\left(\frac{A_S}{A_C}\right)^{2{,}2}\right) - 1 \tag{2.28}$$

Bu metotlar için Stolker ve Ferheij (2006) tarafından WL I Delft Hidrolik (1987), Maynord (1990) ve VBD (2003) verileri kullanılarak doğrulama ve kalibrasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara göre hem WL Delft hem de Maynord formülleri gemi altındaki maksimum akım hızlarının tespitinde bir miktar daha düşük değerler elde etme eğilimindedir. Fonksiyonel bağıntı bu iki metoda göre daha iyi sonuçlar verse de yine daha düşük bir değer verme eğilimindedir. En iyi sonuçları ise Maynord denklemi ile Fiziksel Tabanlı Model vermektedir (Robijns, 2014).

2.3 Yüzer Cismin Hidromorfolojisi Üzerine Çalışmalar

Denizel ortamlarda su derinliği, türbülans kinetik enerjisi, gemi (yüzer cisim) boyutları, tipleri, yüzer cisim hızları, ikincil eddyler gibi askıya kalkan katı madde miktarlarını

etkileyen birçok parametre üzerine çalışmalar yapılmıştır. Fakat yüzer cisim kaynaklı meydana gelen hidromorfolojik etkilerin incelendiği çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Örneğin; Ravens (1997), fırtına koşullarının görülmediği durumlarda, katı madde hareketinde uzun periyotlu (T~6 s) gemi dalgalarının Dorchester Körfezi'nde yer alan Boston Limanı'nda daha baskın olduğu sonucuna varmıştır.

Maynord (2000), gemi kaynaklı katı madde hareketi ve askıdaki katı madde konsantrasyonunu belirlemek amacıyla gemiye etkiyen fiziksel kuvvetler üzerine çalışmıştır.

Parchure ve diğerleri (2001), basit matematiksel ifadeler ve önerilen basit yaklaşımlar yardımıyla gemi kaynaklı dalga etkisi altında kohezyonlu ve kohezyonsuz katı madde için askıya kalkan katı madde miktarlarını hesap edecek bir yöntem sunmuşlardır. Bu basitleştirilmiş yaklaşım ile askıdaki katı madde konsantrasyonun ön tahminleri yapılabilmektedir.

Bauer ve diğerlerinin (2002) yaptığı çalışmada Kaliforniya'nın Sacramento-San Joaquin deltasında gemi kaynaklı nehir seddelerinde meydana gelen erozyonu yerinde gerçekleştirilen ölçümler neticesinde iki farklı analitik yöntem kullanarak incelemişlerdir. Bu doğrultuda, yedi farklı geminin çalışma bölgesinden geçiş zamanı ve geçtikten bir müddet sonraki zaman aralığı için gemi kaynaklı dalga ve askıdaki katı madde miktarları ölçülmüştür. Çalışma sonucunda özellikle sığ su bölgesinde askıdaki katı madde miktarlarının gemi kaynaklı iz akımları ile yüksek korelasyon içerdiği ve seddelerde meydana gelen erozyonun gemi kaynaklı hidrodinamik etkiler neticesinde oluştuğu sonucuna varmışlardır. Çalışmada ayrıca gemi kaynaklı hidrodinamik etkiler neticesinde askıya kalkan katı maddenin askıda kalış süreleri de belirlenmiştir.

McConchie ve Toleman (2003), gemi dalgaları kaynaklı kıyı erozyonunu araştırmışlardır. Çalışmalarında, birkaç bölgede gemi dalgalarının özelliklerini ve askıdaki katı madde konsantrasyonlarını ölçerek, gemi dalgası kaynaklı katı madde konsantrasyonlarının rüzgar kaynaklı askıdaki katı madde konsantrasyonlarından 2 ile 80 kat arasında değişen miktarda fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu nedenle, özellikle feç uzunluklarının sınırlı olduğu nehir ortamlarında gemi tarafından üretilen dalgaların rüzgar kaynaklı dalgalardan kıyı erozyonu açısından daha etkili olduğunu belirlemişlerdir.

Eriksson ve diğerleri (2004), Baltık Denizi'nde Stockholm takımadalarında gemi faaliyetlerinin sucul bitki örtüsü üzerindeki etkilerini araştırmışlarıdır. 44 farklı bölgede yapılan araştırmalar sonucunda, gezi gemileri ya da orta büyüklükteki gemilerin meydana getirdiği morfolojik etkilerin, topluluk çeşitliliğinde önemli değişikliklere neden olabileceği, tür zenginliği ve daha derinlerdeki sucul bitki örtüsünün gelişimi üzerinde önemli derecede olumsuz etkilere sahip olabileceğini göstermişlerdir. Yat limanlarına ulaşım amaçlı kullanılan ya da gemilerin güvenli seyri için oluşturulan yaklaşım kanallarının bitki örtüsü ve tür zenginliği açısından zayıf bir noktada kaldığını tespit etmişlerdir. Gemi trafiği ile artan hidrodinamik etkilerin, sucul bitki örtüsü üzerinde üç farklı sonucu olduğunu belirtilmiştir. Birincisi, artan dalga hareketlerinin bitki dokusunda sürtünmeyi ve yırtılmaları arttırdığı, ikincisi artan bulanıklık nedeniyle ışık kullanılabilirliğinin azalması ve üçüncüsü tabandaki biti örtüsüne direkt temas ile bitkinin deniz tabanından ayrılması.

Ravens (2008), Galveston Körfezi'nin Kuzey Batı'sında yer alan Pine Gully gel-git deresinde gemi dalgası kaynaklı meydana gelen siltasyon miktarlarını incelemiş ve bu miktarların bulunması adına yeni bir metot ortaya konmuştur. Çalışmada Pine Gully gel-git deresinde ortalama su derinliğinin sadece 0,80 m altına düştüğü durumlarda gemi kaynaklı katı madde hareketinin oldukça yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Elkik ve diğerleri (2009) çalışmalarında kanal şev eğimlerinin geri dönüş akımlarına etkisini inceleyerek bu akım için bir tahmin denklemi elde etmişlerdir. Bunun için, 20 m uzunluk, 0,40 m genişlik ve 0,60 m derinliğe sahip bir kanalda Froude sayısı 0,4'den 1,1'e kadar değişecek şekilde farklı gemi hızları ve gemi su çekimi/su derinliği oranı 0,15-0,6 değerleri için 0,30 m uzunluğa ve 0,05 m genişliğe sahip bir gemi kullanılarak sıralı deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaları 2:1, 1:1 ve 0:1 şev eğimleri için yürütmüşlerdir. Bu çalışma neticesinde aşağıda yer alan sonuçları elde etmişlerdir:

- Gemi yakınında meydana gelen geri dönüş akım hızları şev eğiminde elde edilenden daha büyüktür.
- Froude sayısının küçük değerleri için geri dönüş akım profili farklı bölgeler için farklı yapıda olup yüksek Froude sayıları için ise tüm profiller neredeyse aynı yapıdadır.
- Geri dönüş akımları Froude sayısının artmasıyla artmakta, gemi su çekiminin artmasıyla yine artmaktadır.

- Kanal şev eğiminin azalmasıyla geri dönüş akımları artmaktadır.

Bu çalışmalar neticesinde gerçekleştirilen regresyon analizi sonucunda gemi Froude sayısı, gemi su çekimi, blokaj oranı ve kanal şev eğimine bağlı olarak bir denklem geliştirmişlerdir.

Houser (2011) yaptığı çalışmada nehirler gibi dar kanallarda gemilerin meydana getirdiği hidrodinamik etkilerin askıya kalkan katı madde miktarları üzerinde rüzgar kaynaklı meydana gelen dalgalara oranla daha etkili olduğunu göstermiştir.

Lenselink (2011) ise yüklü mavnalarla çalışarak gemi gövdesi altındaki akım hızı profili ve bu hız profilinin deniz tabanına etkilerini araştırmıştır.

Smaoui ve diğerleri (2011) yaptıkları çalışmada bir boyutlu bir model yardımıyla katı madde hareketi ve gemi trafiği arasında niceliksel ve nispeten doğru bir ilişkinin olduğunu göstermişlerdir.

Rapaglia ve diğerleri (2011) ise nehir, dere gibi ortamlarda, askıdaki katı maddelerin askıda kalış süreleri düşük olmasına rağmen gemi trafiğinin yüksek olduğu Venice Lagünü'nde gemi kaynaklı hidrodinamik etkiler nedeniyle askıda kalış sürelerinin bir saate ulaştığını gösteren çalışmalarını yayınlamışlardır.

Das ve diğerleri (2012) çalışmalarında Kampsville yakınlarında kritik altı akışın olduğu Illinois nehrinde mavna hareketi neticesinde meydana gelen geri dönüş akımlarını incelemişlerdir. 1,88 m/s ile 2,90 m/s hızları arasında değişen, 3 senaryo mansap, 3 senaryo memba yönüne doğru olacak şekilde, mavna parçaları 9 ila 16 arasında değişen çoklu mavna yapıları kullanılarak toplam 6 farklı senaryo üzerinde çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Su seviyesi düşüşü (drawdown) ve çökme değerleri farklı araştırmacılara ait farklı ampirik formüller yardımıyla hesaplanmıştır. Sayısal modelleme çalışmaları açık kaynak kodlu OPENFOAM® yazılımı ve iki boyutlu sığ su denklemleri kullanılarak yapılmış, modelleme sonunda elde edilen geri dönüş akımları Hochestein ve Adams, Maynord ve Siemsen ve ölçüm kayıtları ile karşılaştırılmıştır. Sayısal model sonucunda elde edilen geri dönüş akımlarının mavna yakını hariç diğer bölgelerde, ölçüm sonuçları ve diğer araştırmacıların formülleri ile uyum içerisinde olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca mavna hareket doğrultusuna dik doğrultudaki geri dönüş profilinin mavna uzunluğuna ve zamana bağlı olarak değişmekte olduğu sonucuna varılmıştır.

Göransson ve diğerleri (2014) İsveç'in batı kıyısı ile Vänern Gölü arasında kalan Göte Älv nehri üzerindeki ana suyolunda gemi kaynaklı dalga hareketleri üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Genel olarak boyutları 85 m uzunluk, 15 m genişlik ve 5 m genişliğe sahip olan ve hızları 5 ila 10 knot arasında değişen gemilerin meydana getirdiği dalgaların nehir tabanı ve şevlerinde erozyona neden olduğu belirtilerek 17 gemi geçişi sırasında gemi kaynaklı dalgaların özelliklerini ve bu dalgaların neden olduğu bulanıklığı saha ölçümleri ile tespit etmişlerdir. Saha ölçümleri ile tespit edilen dalga özellikleri, gemi dalgalarının tahmini için en yaygın olarak kullanılan formüllerle elde edilen verileri karşılaştırmışlardır. Göte Älv nehrinde birincil ve ikincil dalgaların yüksekliklerinin benzer olduğu fakat birincil dalgaların periyodlarının ikincil dalgalara oranla daha uzun olmasından dolayı birincil dalgaların tabanda meydana getirdiği etkilerin daha fazla olduğu, bu durumun da maksimum bulanıklığın asıl nedeni olduğunu göstermişlerdir. Şevlerde meydana gelen erozyon için ise iki dalga türünün de önemli olabileceği belirtilmiştir. Çalışmada, birincil dalga sistemindeki su seviyesindeki azalma en iyi olarak çökme (squat) için kullanılan analitik formüller yardımıyla hesap edilmiş, ikincil dalga yüksekliğinde ise PIANC formülü kullanılarak en iyi doğrulukla tahmin gerçekleştirilmiştir.

Ji ve diğerleri (2014) üç boyutlu bir sayısal model yardımıyla pervaneli ve pervanesiz geminin meydana getirdiği hidrodinamik etkiler sonucunda askıya kalkan katı madde konsantrasyonlarını incelemişlerdir.

Ji ve diğerleri (2014) diğer bir çalışmada ise gemiden uzak bir bölgede gemi kaynaklı hidrodinamik etkilerin katı madde hareketine olan etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda, Froude sayısı ve boyutsuz bir parametreye bağlı olarak gemi kaynaklı hidrodinamik etkiler sonucunda meydana gelen askıdaki katı madde miktarlarını hesap eden bir bağıntı ortaya koymuşlardır.

Robins (2014) tarafından tez kapsamında Deltares'de fiziksel model testleri gerçekleştirilmiştir. Uzunluk ölçeği 1/30 olan bu model testlerinde kanal içerisinde yer alan bir gemi, kanal doğrultusunda çekilerek gemi üzerindeki kuvvetler ve geminin hareketi sırasında deniz tabanında meydana gelen akım hızları ve basınç değerleri incelenmiştir. Bu modellemeler farklı taban durumları için tekrarlanarak tabandaki etkileri gözlemlenmiştir. Modellemeler neticesinde, yüzer cismin tabanla arasında kalan bölgedeki akım hızlarını

etkileyen en önemli parametrelerin gemi baş yapısının şekli ve geminin tabandan olan mesafesi olduğu elde edilmiş, mavna tipi yüzer cisimlerin klasik gemi formundaki yapılara oranla tabanda daha yüksek akım hızlarının elde edilmesine neden olduğu belirlenmiştir. Gemi altında kalan temiz açıklık ne kadar azalırsa deniz tabanında meydana gelen akım hızlarının da o oranda arttığı gözlenmiştir. Fakat oldukça küçük temiz açıklıklarda gemi üzerindeki sınır tabakası ile taban üzerindeki sınır tabakasının etkileşime girdiğini gözlemlenmiştir. Bu olgu, gemi altındaki akımda bir blokaj etkisi yaratarak akımın gemi yanlarına doğru yönelmesine ve böylelikle gemi altındaki akım hızlarının düşmesine neden olmaktadır. Robijns, gemi yanına doğru akımın yönlenmesi durumunu fiziksel deneylerde de elde etmiş ve bu olgunun temiz açıklığın azalması ve ayrıca gemi genişliğinin artmasıyla arttığını da gözlemleyip elde etmişlerdir. Ayrıca tez kapsamında gerçekleştirilen deneyler neticesinde, gemi hareket doğrultusunda gemi altında meydana gelen maksimum akıntı hızını ve gemi hareket doğrultusuna dik yöndeki akıntı dağılımlarını tahmin eden bir model geliştirmişlerdir.

Schroevers ve diğ., (2015)'de Hollanda'nın güneyinde yer alan 36 km uzunluğundaki Juliana Kanalı'nda kanal taban stabilitesini gözlemlemek amacıyla derin yüklü mavna kullanılarak 1/1 ölçekli fiziksel deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde, 110 m uzunluğunda, 11 m genişliğinde ve 3,5 m su çekimine sahip gerçek bir mavna, 36 km uzunluk, 5 m derinlik ve 45 m genişliğe sahip bir kanalda 5 gün süreyle mansaptan membaya ve membadan mansaba olacak şekilde toplam 60 defa hareket ettirilmiştir. Mavna bir gün (14 defa) 3 m su çekimine gelecek şekilde diğer günlerde ise 3,5 m su çekimine gelecek şekilde yüklenmiştir. Ortalama mavna hızı 1,9 m/s olarak ayarlanmıştır. Mavnanın her bir geçişi sırasında gemi altında meydana gelen akım hızları ve kanal boyunca taban değişimleri ölçülmüştür. Mavnanın geçişi sırasında, mavnanın baş kısmından itibaren oluşmaya başlayan mavna sınır tabakası ve taban sınır tabakasının mavnanın kıç kısmına doğru büyümeye başladığını, bu durumun ise mavnanın baş kısmında akım hızının hemen artıp, sınır tabakasının oluşması ile birlikte ise azalmasına neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Mavnanın her geçişinde çakıl kaplı kanalın ortasındaki çakılların hareket ederek kanal yanlarına doğru taşındığı, her 10 geçişte kanal ortasındaki erozyon miktarının 1 cm değerine, deney sonunda ise 6 cm değerine ulaştığını gözlemleyerek kanal tabanının stabilitesinin sağlanamadığı sonucuna varmışlardır.

Zaggia ve diğerleri (2017), İtalya'da Venedik lagününde Malamocco Marghera kanalında saha ölçümlerine ve uydu görüntülerine dayanan analizler sonucunda kıyı çizgisinde

meydana gelen değişimleri araştırmışlardır. Yapılan analizler çerçevesinde, kıyı çizgisindeki yıllık gerileme miktarının 3-4 m, erozyona uğrayan katı madde miktarının ise yıllık $3x10^4$ m^3 civarında olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen bu erozyon miktarlarının en önemli ve en baskın nedenlerinden birinin yoğun gemi trafiğinin meydana getirdiği hidrodinamik etkiler olduğunu belirlenmiştir.

Kurdistani ve diğerleri (2019), gemi kaynaklı dalga ve nehir akımı etkisi altında nehir şevlerinin korunması için kullanılan koruma tabakasının tasarımına yeni bir bağıntı önermişlerdir. Literatürde mevcut olan deneysel ve gözlem verileri incelenmiş ve buna bağlı olarak iyi bir veri tabanı oluşturulmuştur. Nehir su derinliği, nehir akıntı hızları, nehri şevlerinin açıları, Froude sayısı, dalga yükseklikleri, periyodu ve geliş açıları gibi farklı koşullar göz önüne alınmıştır. Yeni geliştirilen denklem, Bhowmik, 1978'de önerilen ampirik denklem ile denklem yardımıyla hesaplanan değerler ise saha ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Gemi kaynaklı dalga ve nehir akımı etkisi altında nehir şevlerinin korunmasının birden fazla değişkene bağlı olduğunu belirterek, koruma tabakasının tahmininde nehir şevlerinin açısı ve maksimum dalga yükseklikleri harici su derinliği, akım hızları, dalga uzunluğu, geliş açısı ve dalga periyodunun da önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Du ve diğerleri (2020) bir itici ve bir ya da iki mavnadan oluşan iki iç deniz konvoyu kullanarak deneysel çekme testleri ve sayısal modelleme çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Sayısal model çalışmalarında açık kaynak kodlu OpenFoam yazılımından yararlanılmış olup model doğrulama ve onaylama çalışmaları trim ve batma etkilerinin göz önüne alınmadığı çekme deneyi senaryoları yardımıyla yapılmıştır. Sayısal modelde, üç farklı su derinliği, iki farklı su çekimi, üç farklı kanal genişliği ve çeşitli çekilme hızları göz önüne alınarak sınırlandırılmış su yolu içerisindeki gemi kaynaklı dalgaların analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kanal genişliği, derinliği ve gemi su çekiminin gemi direnci üzerine etkileri de araştırılmıştır. Sayısal model sonuçlarında, daha küçük kanal genişliği, daha küçük su derinliği ve daha fazla su çekiminin olduğu durumda gemi direncinin oldukça arttığı gözlemlenmiştir.

Duro ve diğerleri (2020), Hollanda Meuse Nehri'de akustik doppler ile hız ölçümleri, toprak testleri, çok ışınlı sonar tarama, havadan ve karada fotoğraflar ve UAV (insansız hava aracı)-SfM (hareketten yapı) yöntemleri kullanılarak elde edilen fotoğraflar yardımıyla deniz

araçlarının nehir şevleri ve korumalarına etkilerini ve kıyı çizgisi değişimini ayrıntılı olarak incelemişlerdir.

Mao ve Chen (2020), Çin'in Jiangsu bölgesinde yoğun deniz trafiğinin bulunduğu Grand Kanalı'nda saha ölçümleri gerçekleştirerek gemi kaynaklı dalga ve akıntı verilerini incelemişlerdir. Yapılan ölçüm ve analizler tek bir geminin yarattığı hidrodinamik etkiler haricinde birden fazla geminin art arda geçmesi durumunda meydana gelen hidrodinamik etkileri de içermektedir. 27 mavna ve 12 yat için ayrı ayrı yapılan ölçüm analizlerinde, Kriebel ve diğerleri (2003) tarafından sunulmuş olan klasik su seviyesi alçalması formülü ile elde edilen değerlerin saha ölçümleri ile uyuşmadığı tespit edilmiştir. Tek bir gemi geçişi durumunda tabanda meydana gelen akıntı değerinin 0,59 m/s değerine ulaştığı, çoklu gemi geçişlerinde ise bu değerin beklenenden daha düşük bir değer alarak 0,32 m/s olarak gözlemlendiği belirtilmiştir. Fakat bu değerlerin hiçbir gemi geçişi olmaması durumdaki akıntı hızı değerlerine oranla tek bir gemi geçişinde 9, çoklu gemi geçişinde ise 6 kat arttığı tespit edilmiş olup, gemi kaynaklı akıntıların deniz tabanı ve şevlerindeki katı maddenin hareket etmesine neden olabileceği vurgulanmıştır.

Ulm ve diğerleri (2020), Almanya'da yer alan Kiel Kanalı'nda gemi kaynaklı dalga oluşumu, su seviyesi alçalması ve katı madde hareketi üzerine sahada yapılan ölçümlere dayanan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın birinci aşamasında, gemi hareketi nedeniyle meydana gelen su seviyesi alçalmasının mevcut hesaplama yöntemleri araştırılarak bu hesaplama yöntemleri ile elde edilen değerler sahada yapılan ölçümler ile karşılaştırılmış ve kendileri tarafından su seviyesi alçalması için yeni bir yaklaşım sunulmuştur. İkinci aşamada ise bulanıklık ve akım hızı ölçümleri yardımıyla gemi kaynaklı katı madde hareketleri tahmin edilerek bu değerler yıllık tarama miktarları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde Kiel Nehri'nde meydana gelen toplam katı madde hareketinin %10'unu gemi kaynaklı katı madde hareketinin oluşturduğu, diğer hareketlerin ise kanalındaki akımın mevcut doğal hareketinden meydana geldiği tespit edilmiştir.

Şafak ve diğerleri, (2021)'de Amerika Birleşik Devletleri'nde Florida'nın kuzeydoğusunda yer alan kıyı içindeki suyolunda belirli bir bölgede, gelgit, akıntı, gemi izi ve bulanıklık değerleri ölçülmüştür. Ölçümü gerçekleştirilen veriler analiz edilerek hidrodinamik ve katı madde özellikleri değerlendirilmiştir. Zaman-frekans analiz yöntemleri kullanılarak

gerçekleştirilen gözlemlerde, değişken enerjilere sahip günlük ortalama 60 gemi izi olayı tespit edilmiştir. Gemi hareketlerinin olduğu durumdaki katı madde hareketleri ile gemi hareketlerinin olmadığı durumdaki katı madde hareketleri karşılaştırılmıştır. Gözlem sonuçlarına göre, gemi hareketlerinin olduğu durumda tabana yakın bölgede meydana gelen askıdaki katı madde konsantrasyonları, gemi hareketlerinin olmadığı duruma oranla daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Gel-git etkilerinin benzer olduğu gemi hareketlerinin olduğu ve olmadığı gözlemlerin ilk 8 gününde ölçülen askıdaki katı madde konsantrasyonları karşılaştırıldığında, gemi hareketlerinin olduğu dönemde meydana gelen askıdaki katı madde konsantrasyonunun, gemi hareketlerinin olmadığı duruma göre %12 oranında artış gösterdiği belirlenmiştir. Gel-gitin diğer evrelerinde de gemi hareketlerinin olduğu dönemde meydana gelen askıdaki katı madde konsantrasyonunun, gemi hareketlerinin olmadığı duruma göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Mao ve Chen (2022)'de, bir kanalda seyreden geminin meydana getirdiği dalgaların kanal tabanının enkesitinde oluşturduğu etkiler sayısal model ve laboratuvar deneyleri yardımıyla araştırılmıştır. Kendinden tahrikli bir gemi modeli ile deneysel testler gerçekleştirilmiş ve yatay bir platforma ve şevlerden oluşan bir kum yatağı çeşitli gemi dalgalarına maruz bırakılmıştır. Deney sonuçlarına göre kanal taban enkesitlerinde gemi geçişleri sırasında meydana gelen profil değişikliklerinin benzer bir eğilim göstererek yatay platform ile şevlerin kesiştiği yerlerin oyulduğu, düşey setin alt köşesi ve şevin en alt kısmında birikmelerin meydana geldiği tespit edilmiştir. Deneylerde kullanılan su tankındaki gemi dalgaları ve taban morfolojisinin değişimini modellemek amacıyla XBeach modeli kullanılmıştır. XBeach modelinde, gemi kaynaklı akım hızları ve taban profilinin değişiminin doğrulamaları laboratuvar deneyleri ile gerçekleştirilmiş ve kanal şevleri boyunca meydana gelen birikmelerde daha yüksek değerler elde edilmesine rağmen deneysel sonuçlar ile modelin bir uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir. Gemi seyir koşullarının kanal taban profili üzerindeki etkileri ayrıca incelenmiş, farklı hızlardaki gemi geçişlerinden sonra kanal taban profili eğrisinin eğrilik olasılık yoğunluk fonksiyonunun normal dağılım eğrisinden daha dik ve sola çarpık olduğu belirlenmiştir.

3. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD)

Akışkan içeren mühendislik problemlerinin birçoğu, karmaşık geometrilere sahip, üç-boyutlu, kararsız, üniform olmayan ve türbülanslı akımları içermektedir. Akışkan davranışı üç farklı yol ile incelenebilmektedir. Bunlar deneysel yaklaşımlar, teorik yaklaşımlar ve sayısal yaklaşımlardır. Akışkan hareketlerinin belirlenmesi için deneysel sonuçlardan yola çıkarak geliştirilen ve temel denklemlere dayanan çeşitli matematiksel yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerin sayısal çözümü günümüzde sıklıkla bilgisayar destekli yöntemler vasıtası ile gerçekleştirilmektedir. Bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ve yaygınlaşması ile birlikte mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan sayısal yöntemlerin sayısı ve kullanımı da artmıştır. Sayısal yöntemlerin bilgisayar desteğiyle çözümlerinin artmasıyla daha önce analitik yöntemlerle çözümü mümkün olmayan problemlerin çözümünde önemli adımlar atılmış, ayrıca bilgisayar teknolojisinin sürekli devam eden gelişimi nedeniyle daha önce hesaplamalara katılamayan ya da ihmal edilen yüksek mertebeden terimlerin çözümlemelere katılmasına olanak sağlanmıştır. Bunun yanı sıra bilgisayar destekli sayısal çözümler, deneysel çalışmalarda göz önüne alınamayan ya da göz önüne alınması güç ve zaman gerektiren mühendislik problemlerinin çözümünde önemli bir basamak olmayı başarmıştır. Akışkanlar ile ilgili bilgisayar destekli sayısal çözümlemeler "Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)" olarak adlandırılmaktadır. HAD ile mevcut bir sistemin davranışının incelenmesinin yanında, yeni tasarımlar ile kavramsal çalışmalar ya da ürün geliştirme, sorun tespiti, sorun giderme veya sorun iyileştirilme gibi birçok mühendislik çalışması yapılabilmektedir.

HAD'de, sayısal çözümleme yöntemleri kullanılarak akışkan akımlarının, ısı transferlerinin veya kimyasal reaksiyonların analizi gerçekleştirilebilmektedir. HAD'ın kullanımıyla karmaşık geometrilerin, sıvı-sıvı, sıvı-katı veya sıvı-gaz etkileşimlerini içeren, tek fazlı, çok fazlı akımların, termal akımların, katı madde hareketleri gibi karmaşık sorunların analizleri yapılabilmektedir. HAD analizlerinin sıklıkla kullanıldığı mühendislik alanları, aerodinamik ve hidrodinamik gibi kaldırma ve sürükleme kuvveti gibi niceliklerin veya basınç ve akım hızı gibi alansal özelliklerin elde edildiği alanlarıdır.

Fiziksel süreci incelenmek istenen bir projede, HAD kullanılarak yapılan analizler tasarım sürecinde zamanda tasarruf etme konusunda büyük bir potansiyele sahip olduğundan geleneksel deneylere oranla daha ucuz ve daha hızlı olma şansı da yakalamaktadır. Ayrıca

fiziksel deneylerde bir seferde sadece bütçenin yettiği veya projenin imkan sağladığı oranda değişkenler ölçülebilirken, HAD analizinde ise istenilen tüm miktarlar aynı anda uzay ve zaman ölçeğinde (istenilen yer ve zamanda) yüksek çözünürlükte ölçülebilir.

HAD, gerçek bir fiziksel olayın yaklaşık bir çözümünü temsil ettiğinden fiziksel testler tam anlamıyla dışlanmamalı, kalibrasyon ve doğrulama amaçlı testler yapılmalıdır. Sayısal ortamda hazırlanan bir HAD modeli, incelemeye alınan gerçek bir olayı tam olarak doğru bir şekilde temsil etmiyorsa yani hazırlanan model eksik ya da yanlış bir şekilde hazırlanmış ise, o modelleme sonucunda elde edilen sonuçlar da gerçeği yansıtmayacaktır. Bu nedenle, gerçek fiziksel durumun ve HAD modelinin aşağıdaki hususlar dikkate alınarak düzgün bir şekilde değerlendirilmesi önemlidir (Maguire, 2011).

- Hesaplamalardan elde edilen bilgi ve veriler,
- Çalışmadaki önemli fiziksel olayları yakalamak için gerekli olan çözünürlük ve hesaplama ağı tasarımı,
- Gerçek fiziksel durumu en iyi temsil eden sınır koşulu ya da koşulları,
- Hesaplamalarda kullanılacak olan akışkan türleri,
- Problem için önemli olan akışkan özellikleri,
- Önemli fiziksel olaylar,
- Akışkanın ve modelin başlangıç koşulları,
- Hesaplamalarda kullanılan birim sistemi.

HAD özellikle aşağıdaki durumlarda tercih edildiğinde iyi bir analiz seçeneği olarak değerlendirilebilir:

- Geometrinin karmaşık, fiziksel süreçleri ve ayrıntı düzeyi açısından standart mühendislik hesaplamalarının yeterli olmadığı durumlarda,
- Fiziksel deneylerin maliyetli olduğu durumlarda, örneğin uçak, helikopter vb. gibi hava araçlarının incelendiği çalışmalarda hava tünelinin inşa maliyeti gibi.
- Ölçümlerinin tehlikeli ya da çok zorlu olduğu durumlarda ya da deney ölçümlerinin yapılma imkanı olmadığı durumlarda.

HAD'ın aşağıdaki durumlarda kullanımı diğer koşullara nazaran daha az etkilidir:

- Çalışma alanını küçültüldüğü, çözülmemiş fiziksel olayları açıklama için yarı deneysel modellerin kullanıldığı ve önemli hesaplama kaynağına ihtiyaç duyulduğu durumlarda,
- Önemli fiziksel olayların bilinmediği durumlar,
- Fiziksel olayların yeterince iyi anlaşılamadığı ya da aşırı derecede karmaşık olduğu durumlarda (Velioğlu, 2017).

3.1 Kullanılan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yazılımı (FLOW-3D Hydro)

Flow-3D genel amaçlı bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımıdır. Akışkan hareketi doğrusal olmayan, süreksiz, ikinci dereceden diferansiyel denklemlerle tanımlanır. Bu denklemleri çözmek için akışkan hareket denklemleri kullanılmalıdır. Bu tür yöntemleri geliştirme bilimine hesaplamalı akışkanlar dinamiği denir. Bu denklemlerin sayısal çözümü, çeşitli terimlerin cebirsel ifadelerle yaklaştırılmasını içerir. Ortaya çıkan denklemler daha sonra orijinal probleme yaklaşık bir çözüm vermek için çözülür. Bu işlem simülasyon olarak adlandırılmaktadır (Flow-3D Hydro Manual, 2022).

Tipik olarak sayısal bir model, bir hesaplama ağı veya ızgaradan oluşur. Bu hücreler, fiziksel alanı, her bir hacimle ilişkili birkaç düğüm ile küçük hacimlere böler. Düğümler, basınç, sıcaklık ve hız gibi bilinmeyenlerin değerlerini depolamak için kullanılır. Ağ, orijinal fiziksel alanın yerini alan sayısal bir alan olup ayrı konumlarda akış parametrelerinin tanımlanması, sınır koşullarının belirlenmesi ve akışkan hareketi denklemlerinin sayısal yaklaşımlarının geliştirilmesi için araçlar sağlar. Flow-3D yaklaşımı, akış alanını dikdörtgen hücrelerden oluşan bir ızgaraya (grid) bölmektedir.

Bir hesaplama ağı fiziksel alanı etkili bir şekilde bölmelere ayırır. Her akışkan parametresi, ayrı noktalarda bir dizi değerle bir ağ içinde temsil edilir. Gerçek parametreler uzayda sürekli olarak değiştiğinden, düğüm noktaları arasında daha az bir boşluk bulunan bir ağ gerçek koşulları düğüm noktaları arasında daha fazla boşluk olan duruma nazaran daha iyi temsil eder. Aynı fiziksel alan için grid aralığını azaltmak veya ağı iyileştirmek, daha fazla eleman ve düğüm ile sonuçlanır ve bu durum sayısal modelin boyutunu arttırır. Ancak akışkan akımı ve ısı transferinin fiziksel gerçekliğinin yanı sıra, tasarım mühendislerini makul bir ağ boyutu seçmeye zorlayan tasarım döngüleri, bilgisayar donanımı ve son teslim tarihleri gibi gerçekler de vardır. Bu kısıtlamaları karşılamak ve kullanıcı tarafından doğru çözümler elde etmek arasında bir dengeye ulaşmak oldukça zor bir eylemdir.

Hesaplama hücreleri, üç indeks kullanılarak ardışık bir şekilde numaralandırılır. X-yönünde i, y-yönünde j ve z-yönünde k. Bu şekilde, üç boyutlu ağdaki her hücre, fiziksel uzaydaki bir noktanın koordinatlarına benzer şekilde benzersiz bir adres (i, j, k) ile tanımlanabilir. Yapılandırılmış dikdörtgen gridler, orijinal fiziksel problemle ilişkileri, sayısal çözümlerin doğruluğu ve kararlılığı bakımından sayısal yöntemlerin geliştirilmesinin göreli kolaylığının ek faydalarını taşır. Sonlu farklar ve sonlu hacimler yöntemlerine dayanan en eski sayısal algoritmalar, orijinal olarak bu tür ağlar üzerinde geliştirilmiştir.

Flow-3D, genel akışkan denklemlerinin farklı sınırlayıcı durumlarına karşılık gelen çeşitli modlarda çalıştırılabilir. Örneğin, bir mod sıkıştırılabilir akışlar için iken, diğer mod ise tamamen sıkıştırılamaz akış durumları için kullanılabilir.

FLOW-3D ile yapılan birçok simülasyonda serbest yüzey bulunmaktadır. Akış parametreleri ve yoğunluk, hız ve basınç gibi malzeme özellikleri burada bir süreksizlik yaşadığı için herhangi bir hesaplama ortamında serbest yüzeyleri modellemek zordur. FLOW-3D'de, sıvıya bitişik gazın ataleti ihmal edilir ve gazın kapladığı hacim, yalnızca düzgün basınç ve sıcaklık ile temsil edilen, kütlesi olmayan boş bir alanla değiştirilir. Bu yaklaşım, hesaplama zaman sürelerinin oldukça azalmasına olanak sağlamaktadır.

Kütle Süreklilik Denklemi

Kütle süreklilik denklemi denklem (3.1)'de verilmiştir:

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + R\frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) + \xi \frac{\rho u A_x}{x} = R_{\mathrm{DIF}} + R_{\mathrm{SOR}} \qquad (3.1)$$

Burada:

V_F akışa açık hacmi,

ρ Akışkan yoğunluğu,

R_{DIF} türbülans difüzyonu terimini,

R_{SOR} ise kütle kaynağı terimini,

temsil etmektedir.

(u, v, w) sırasıyla (x, y, z) koordinat sistemindeki akım hızlarıdır. Ax, Ay ve Az sırasıyla x, y z eksenlerindeki akışa açık alanları temsil etmektedir.

(3.1)'de verilen denklemde sağdan ilk terim türbülans difüzyonu terimi olup denklem (3.2)'de gösterildiği gibi tanımlanmaktadır:

$$R_{\mathrm{DIF}} = \frac{\partial}{\partial x}\left(v_\rho A_x \frac{\partial \rho}{\partial x}\right) + R\frac{\partial}{\partial y}\left(v_\rho A_y R\frac{\partial \rho}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(v_\rho A_z \frac{\partial \rho}{\partial z}\right) + \xi \frac{v_\rho A_x}{x}\frac{\partial \rho}{\partial x} \quad (3.2)$$

Burada:

$v_\rho\ S_c \frac{\mu}{\rho}$'ye eşit olmakla birlikte μ momentum difüzyonu katsayısı (viskozite) ve Sc genellikle Schmidt sayısı olarak adlandırılan bir sabittir.

Sıkıştırılabilir akım problemlerinin çözümü için Denklem (3.1)'de gösterilen tam yoğunluklu taşınım denkleminin çözümü gerekmektedir. Sıkıştırılamaz akımlar için ρ sabit olduğundan denklem (3.1) denklem (3.3)'e indirgenir.

$$\frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + R\left(vA_y\right) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) + \xi\frac{uA_x}{x} = \frac{R_{\mathrm{SOR}}}{\rho} \quad (3.3)$$

Momentum Denklemleri

Üç koordinat sistemindeki akım hızı bileşenleri (u, v, w) için hareket denklemleri, bazı ek terimlerle birlikte Navier-Stokes denklemleridir:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F}\left\{uA_x\frac{\partial u}{\partial x} + vA_yR\frac{\partial u}{\partial y} + wA_z\frac{\partial u}{\partial z}\right\} - \xi\frac{A_y v^2}{xV_F} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{\mathrm{SOR}}}{\rho V_F}(u - u_w - \delta u_s) \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F}\left\{uA_x\frac{\partial v}{\partial x} + vA_yR\frac{\partial v}{\partial y} + wA_z\frac{\partial v}{\partial z}\right\} + \xi\frac{A_y uv}{xV_F} = -\frac{1}{\rho}\left(R\frac{\partial p}{\partial y}\right) + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{\mathrm{SOR}}}{\rho V_F}(v - v_w - \delta v_s) \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F}\left\{uA_x\frac{\partial w}{\partial x} + vA_yR\frac{\partial w}{\partial y} + wA_z\frac{\partial w}{\partial z}\right\} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{\mathrm{SOR}}}{\rho V_F}(w - w_w - \delta w_s) \quad (3.6)$$

Burada:

(G_x, G_y, G_z) Kütlesel kuvvet ivmesi,

(f_x, f_y, f_z) viskoz ivmeleri,

b yük kaybı,

U_w sonlu elemanın hareket hızı, Genel Hareket Eden Obje Modeli için genellikle sıfır olmayan bir terimdir,

U_s kontrol hacminin yüzeyindeki akım hızı,

olarak açıklanabilmektedir. U_s her eleman için tekrar hesaplanmaktadır.

Değişken dinamik viskozite için viskoz ivmeler:

$$\rho V_F f_x = wsx - \left\{\frac{\partial}{\partial x}(A_x\tau_{xx}) + R\frac{\partial}{\partial y}(A_y\tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial z}(A_z\tau_{xz}) + \frac{\xi}{x}(A_x\tau_{xx} - A_y\tau_{yy})\right\} \quad (3.7)$$

$$\rho V_F f_y = wsy - \left\{\frac{\partial}{\partial x}(A_x\tau_{xy}) + R\frac{\partial}{\partial y}(A_y\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial z}(A_z\tau_{yz}) + \frac{\xi}{x}(A_x + A_y)\tau_{xy}\right\} \quad (3.8)$$

$$\rho V_F f_z = wsz - \left\{\frac{\partial}{\partial x}(A_x\tau_{xz}) + R\frac{\partial}{\partial y}(A_y\tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z}(A_z\tau_{zz}) + \frac{\xi}{x}(A_x\tau_{xz})\right\} \quad (3.9)$$

Burada:

$$\tau_{xx} = -2\mu\left\{\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x} + R\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x}\right)\right\} \quad (3.10)$$

$$\tau_{yy} = -2\mu\left\{R\frac{\partial v}{\partial y} + \xi\frac{u}{x} - \frac{1}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x} + R\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x}\right)\right\} \quad (3.11)$$

$$\tau_{zz} = -2\mu\left\{\frac{\partial w}{\partial z} - \frac{1}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x} + R\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x}\right)\right\} \quad (3.12)$$

$$\tau_{xy} = -\mu\left\{\frac{\partial v}{\partial x} + R\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\xi v}{x}\right\} \quad (3.13)$$

$$\tau_{xz} = -\mu\left\{\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}\right\} \quad (3.14)$$

$$\tau_{yz} = -\mu\left\{\frac{\partial v}{\partial z} + R\frac{\partial w}{\partial y}\right\} \quad (3.15)$$

Flow-3D Hydro yazılımında kullanılan genel taşınım denklemi Denklem (3.16)'da verilmektedir:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{V_F}\left[uA_x\frac{\partial C}{\partial x} + vA_y\frac{\partial C}{\partial y} + wA_z\frac{\partial C}{\partial z}\right] = \frac{1}{V_F}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(A_xD\frac{\partial C}{\partial x}\right) + R\frac{\partial}{\partial y}\left(A_yDR\frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(A_zD\frac{\partial C}{\partial z}\right)\right] + C_{SOR} \quad (3.16)$$

Burada:

C konsantrasyon değerini,

D_k difüzyon katsayısını,

C_{SOR} ise kaynak terimini

ifade etmektedir.

Taşınımı gerçekleşen maddenin (katı madde, kirletici vb. gibi) akışkan dinamiğine bir etkisi bulunmamakla birlikte, ortalama akımla hareket eder ve difüzyon katsayısı D ile yayılırlar.

$$\rho D = RMSC.\mu + CMSC \quad (3.17)$$

Burada:

RMSC Schmidt sayısının tersini,

μ dinamik viskoziteyi,

ρ akışkan yoğunluğu,

CMSC ise sayısal difüzyon sabitini,

göstermektedir.

Tabandaki katı madde, küçük çevrintiler ve kayma gerilmeleri nedeniyle tabanda ya da tabandan askıya kalkarak sürüklenir. Her bir katı maddenin akım dinamiklerini teker teker hesaplamak mümkün olmadığından bu hesaplamalar için genel deneysel modeller kullanılmaktadır. Flow-3D Hydro tarafından Mastbergen ve Van den Berg, 2003 kullanılmaktadır. Ayrıca kritik Shields parametresini hesaplamak amacıyla Soulsby-Whitehouse, 1997 formülünden yararlanılmaktadır. İlk hesap adımında kritik Shields parametresini hesap etmek için boyutsuz bir parametre olan d_i^*'dan yararlanılır:

$$d_{*,i} = d_i \left[\frac{\rho_f(\rho_i - \rho_f)\|g\|}{\mu_f^2}\right]^{1/3} \tag{3.18}$$

Burada:

ρ_i i katı maddenin yoğunluğu,

ρ_f akışkanın yoğunluğu,

d_i katı maddenin çapı,

μ_f akışkanın dinamik viskozitesi,

$\|g\|$ yerçekimi ivmesini,

İfade etmektedir.

Bu parametre kullanılarak Soulsby-Whitehouse formülü yardımıyla boyutsuz kritik Shields parametresi hesap edilir:

$$\theta_{\mathrm{cr},i} = \frac{0.3}{1+1.2d_{*,i}} + 0.055\left[1 - \exp\left(-0.02d_{*,i}\right)\right] \tag{3.19}$$

Bu parametre, içsel sürtünme açısını içerecek şekilde eğimli yüzeyler için tekrar yazılabilir. Eğimli bir yapıya sahip yüzeylerde tabandaki katı maddenin daha kararsız olduğu ve bu eğimden aşağıya doğru hareket eden sıvı ile daha kolay sürüklenmeye neden olduğundan böyle bir düzeltmeye gidilmektedir. Bu değişiklik sonucunda formül Denklem (3.20)'de gösterilen duruma gelmektedir:

$$\theta'_{\mathrm{cr},i} = \theta_{\mathrm{cr},i} \frac{\cos\psi\sin\beta + \sqrt{\cos^2\beta\tan^2\varphi_i - \sin^2\psi\sin^2\beta}}{\tan\varphi_i} \tag{3.20}$$

Burada:

β tabanın eğimini,

$\varphi_i$içsel sürtünme açısını,

göstermektedir.

Lokal Shields parametresi Denklem (3.21)'de verilen lokal tabandaki kayma gerilmesi ile hesap edilmektedir. Buna göre tabandaki lokal kayma gerilmesi τ:

$$\theta_i = \frac{\tau}{\|g\| d_i (\rho_i - \rho_f)} \tag{3.21}$$

Nikuradse eşdeğer pürüzlülük değeri, katı maddenin medyan dane çapı ile orantılı olduğu varsayılarak hesap edilmektedir. Buna göre eşdeğer pürüzlülük değeri k_s:

$$k_s = c_{rough} d_{50,packed} \tag{3.22}$$

Burada:

c_{rough} kullanıcı tarafından girilen katsayıyı belirtmektedir.

Buna göre katı maddenin askıya kalkma hızı:

$$\mathbf{u}_{\text{lift},i} = \alpha_i \mathbf{n}_s d_*^{0.3} \left(\theta_i - \theta'_{\text{cr},i}\right)^{1.5} \sqrt{\frac{\|\mathbf{g}\| d_i (\rho_i - \rho_f)}{\rho_f}} \tag{3.23}$$

Burada:

α_i sürüklenme parametresi olup varsayılan değeri 0,018'dir (Mastbergen ve diğ., 2003).

Çökelme hızı için ise:

$$u_{\text{çökelme},i} = \frac{\upsilon_f}{d_i} \left[\left(10{,}36^2 + 1{,}049 d_*^{0,3}\right)^{0,5} - 10{,}36 \right] \tag{3.24}$$

υ_f akışkanın kinematik viskozitesini göstermektedir. Katı maddeler arasındaki etkileşim için çökelme hızındaki düzeltme Richardson-Zaki ile gerçekleştirilmektedir.

Flow-3D'de tabandaki katı madde taşınımı için üç farklı denklem kullanılabilmektedir. Bunlar:

Meyer, Peter ve Müller (Peter ve diğ., 1948):

$$\Phi_i = \beta_{MPM,i} (\theta_i - \theta'_{cr,i})^{1,5} c_{b,i} \tag{3.25}$$

Nielsen (Nielsen, 1992):

$$\Phi_i = \beta_{Nie,i} {\theta_i}^{0,5} (\theta_i - \theta'_{cr,i}) c_{b,i} \tag{3.26}$$

Van Rijn (Rijn, 1984):

$$\Phi_i = \beta_{VR,i} {d_{*,i}}^{0,3} \left(\frac{\theta_i}{\theta'_{cr,i}} - 1\right)^{2,1} c_{b,i} \tag{3.27}$$

denklemlerdeki $\beta_{MPM,i}$, $\beta_{Nie,i}$, $\beta_{VR,i}$ katsayıları sırasıyla 8, 12 ve 0,053 değerlerini almaktadır. $c_{b,i}$ ise hacimsel oran değeridir. Φ_i boyutsuz tabandaki katı madde taşıma oranı olup hacimsel katı madde taşınım oranı $q_{b,i}$ ile ilişkilidir:

$$q_{b,i} = \Phi_i \left[\|g\| (\frac{\rho_i - \rho_f}{\rho_f}) d_i^3 \right]^{1/2} \quad (3.28)$$

Her bir katı madde türü için askıdaki katı madde konsantrasyonu kendilerine ait taşınım denklemlerinin çözümü ile hesaplanmaktadır:

$$\frac{\partial C_{s,i}}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\mathrm{u}_{s,i} C_{s,i} \right) = \nabla \cdot \nabla \left(D C_{s,i} \right) \quad (3.29)$$

Burada:

$C_{s,i}$ her bir katı madde türü için askıdaki katı madde konsantrasyonunu

D difüzyonu,

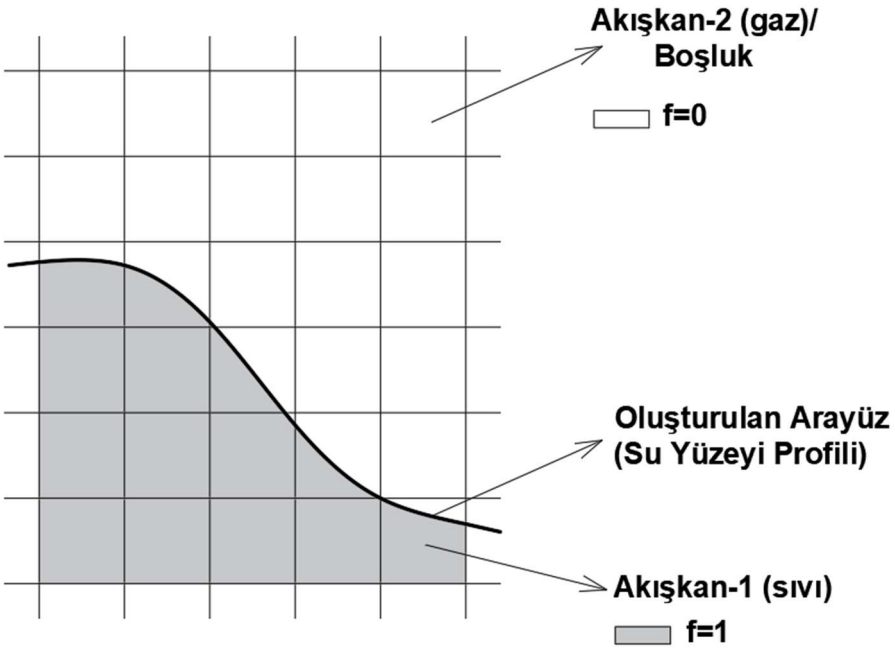
$\mathrm{u}_{s,i}$ askıdaki katı madde hızını,

göstermektedir.

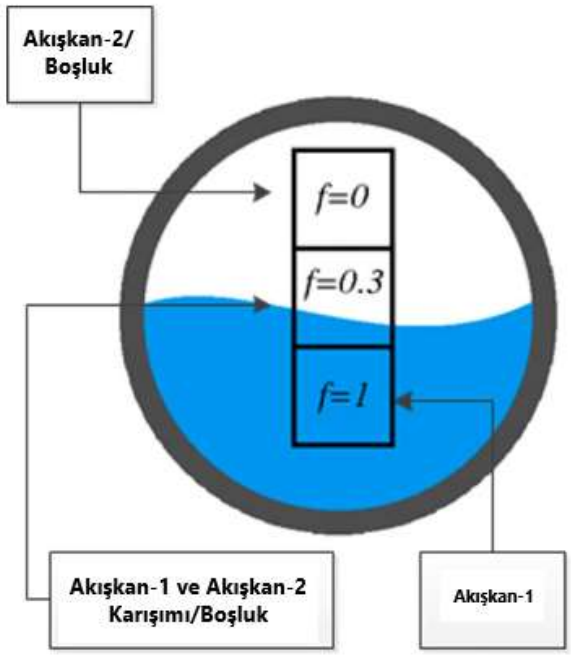
3.1.1 Volume of Fluid (VOF) ve Fractional Area/Volume Obstacle Representation (FAVOR) Teknikleri

Akışkan Hacmi Yöntemi (VOF), sabit grid yapılı bir izleme yöntemi daha doğrusu sayısal bir hacim izleme (Eulerian) yöntemidir. Hacim izleme yöntemlerinde, akışkan arayüzü açıkça tanımlanmaz veya izlenmez ancak sıvının hacim fonksiyonu bilgisine bağlı olarak yeniden yapılandırılır. İlk olarak Hirt ve Nichols, 1981 tarafından keşfedilen VOF yöntemi, iki karışmaz akışkan için akışkanlar arasındaki arayüzün konumunun belirlenmesi için tasarlanmıştır. Temel fikir, bir Euler grid yapısı üzerinde bir sıvı fraksiyon değişken alanı tanımlamaktadır. Her hesaplama gridinde bir gösterge fonksiyonu tanımlanır, bu fonksiyon sıvının grid içerisindeki hacimsel fraksiyonuna bağlı olarak 0 ile 1 arasında değişen bir değer alır. Grid komple sıvı ile dolu ise f=1, eğer grid boş ise f=0 ve grid bir arayüzden oluşuyorsa 0<f<1 olarak ifade edilir. VOF yönteminde sadece sıvının bulunduğu kısımda süreklilik, momentum ve enerji denklemleri çözülür, gaz fazında (boşluk olarak belirtilen kısım) ise sabit bir atmosfer basıncı tanımlı olup süreklilik, momentum ve enerji denklemleri çözülmez. Bu durumla birlikte, gaz ve sıvı gibi iki fazlı akım çözümünün birlikte yapıldığı diğer modelleme yöntemlerine kıyasla hesaplama (çözüm) süreleri oldukça düşmektedir.

VOF yöntemi şematik olarak Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1: VOF yönteminin şematik gösterimi-I.

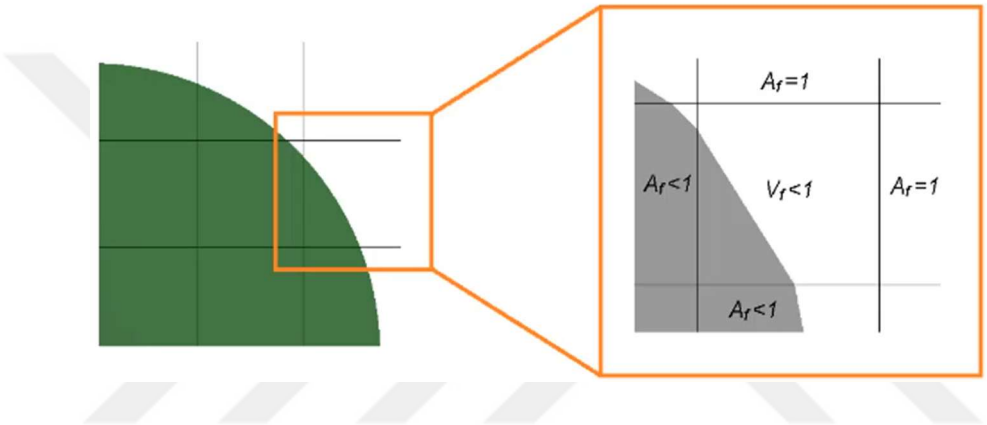


Şekil 3.2: VOF yönteminin şematik gösterimi-II (Flow-3D Hydro Webinar-1, 2022).

Flow-3D yazılımında katı bir cisim ile su arasındaki arayüz dolayısıyla cismin geometrisi FAVOR (Fractional Area/Volume Obstacle Representation) yöntemi ile temsil edilmektedir. FAVOR yönteminde katı bir cismin bir kontrol hacmi (grid) içerisinde hacimsel olarak hangi oranda yer kapladığı bulunmakta, daha sonra kontrol hacminin her bir yüzeyinde ne kadar alan kapladığı bulunarak bu değer ilk bulunan hacim değerine bölünmektedir. Eğer kontrol

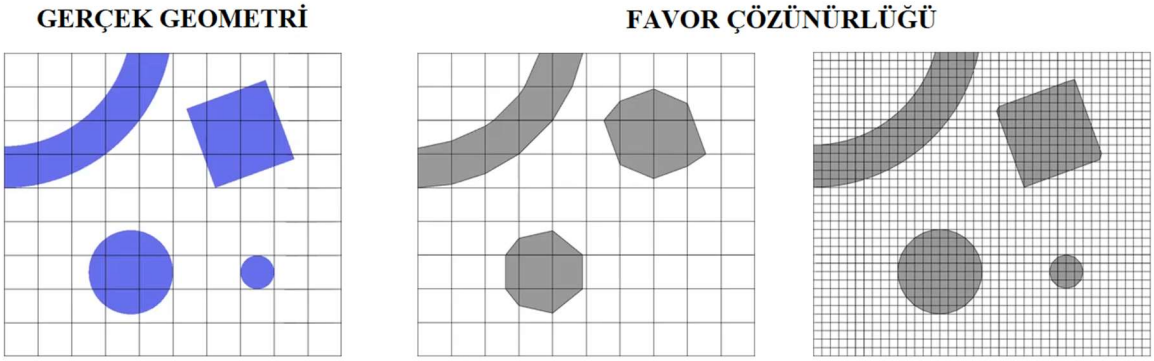
hacmi tamamen katı ile dolu ise bu değer 1, tamamen boş ise 0 ve bu iki değer arasında ise kısmen dolu ve kısmen boştur.

Bir grid yüzünün dört köşesi de geometrinin içindeyse yüzün tamamı geometri içinde olarak tanımlanır. Benzer şekilde, tüm köşeler dışarıdaysa, tüm yüzün geometrinin dışında olduğu varsayılır. Bazı yüz köşeleri bir geometri için ve bazıları ise dışarıda olduğunda, geometrinin yüz kenarları ile kesişimleri hesaplanır. Alan ayrımı, daha sonra bu kesişme noktalarından yüz içindeki kesişme noktaları arasında düz bir çizgi olduğu varsayılarak hesaplanır. Düz çizgi varsayımı, geometri sınırı grid sınırı içinde eğri olduğunda alan ayrımında küçük bir hataya neden olur. Bu hata grid çözünürlüğü iyileştirildikçe azalır.



Şekil 3.3: FAVOR yönteminin şematik gösterimi (Flow-3D Hydro Webinar-2, 2022).

Grid yüzü boyunca uzanan ancak o grid yüzünün bir köşesini içermeyen herhangi bir geometri parçası alan ayrımı belirleyicisi tarafından tanınmaz. Şekil 3.4'de gösterilen küresel nesne en az bir grid köşesini kapsamadığı sürece model tarafından görülmeyecektir.



Şekil 3.4: FAVOR yöntemi ile grid çözünürlüğü ilişkisi (Flow-3D Hydro Webinar-2, 2022).

3.1.2 Sınır Şartları Tipleri

Akışkan akımına ait temel denklemlerin çözülebilmesi için sınırlarda ve başlangıçtaki değerlerin biliniyor olması gerekmektedir. Yani başlangıç ve sınır değerleri kullanılarak çözüm alanı içerisindeki temel kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü gerçekleştirilebilmektedir. Bu durum, problemin çözümünün temelde sınırlarda ve başlangıç koşullarında kabul edilenlerle tanımlandığı anlamına gelir. Bu nedenle, sınırlarda varsayılan sonuçların (tanımlanan değerlerin) iyi bir yaklaşım ile ele alınmış olması gerekmektedir. Sayısal modellerde kullanılan çeşitli sınır koşulları mevcuttur.

Flow-3D yazılımında 10 adet sınır koşulu tanımlanabilmektedir. Bu sınır koşulları:

Sürekli (continuative) Sınır Koşulu: Birçok simülasyonda hesaplama alnının bir veya daha fazla sınırından bir sıvı akışına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür "outflow (çıkış)" sınırlarında iyi bir sınır koşulunu neyin oluşturduğu sorusu ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, düşük hızlı ve sıkıştırılamaz akışkanlarda, bir çıkış sınırında ortaya çıkan bozulmalar (disturbances) tüm hesaplama alanı üzerinde bir etkiye neden olabilir. En basit ve en yaygın olarak kullanılan çıkış koşulu, "sürekli (continuatives)" sınır koşuludur. Sürekli sınır koşulunda, sınırda akışa dik tüm nicelikler sıfır olup sınır boyunca akışın düzgün bir şekilde temsil edilmesi amaçlanmıştır. Sürekli sınır koşulunun fiziksel bir karşılığı bulunmamakta olup sadece matematiksel bir ifadedir, bu nedenle sınırdaki istenen akış sağlanmış ya da sağlanmamış da olabilir. Bu nedenle bu sınır koşulunu dikkatli kullanmak önem taşımaktadır.

Grid Overlay Sınır Koşulu: Grid overlay uygulamasında başka bir simülasyonda sınır koşulu olarak kullanılmak üzere akış profili oluşturan bir simülasyon daha gerçekleştirilir. Örneğin bir jet akımı uygulamasında kaba ve hassas grid yapılarına sahip hesaplama alanları iç içe veya ard arda getirilir, bu durumda önce kaba grid yapısına sahip çalışma alanında hesap yapılır, ard arda veya iç içe bindirilen hesaplama alanına sınırda tanımlanan grid overlay sınır koşulundan ilgili tüm veriler aktarılarak daha hassas tanımlanan diğer çalışma alanında hesaplamalar tekrarlanır. Bu durum ilgili fiziğin yakalanması ve zaman optimizasyonunda olukça önemli bir rol oynar.

Periyodik Sınır Koşulu: Periyodik sınır koşulu çift şekilde uygulanır ve sınırdan çıkan herhangi bir akışkan, çiftte tanımlanan diğer sınırdan aynı şekilde yeniden verilir. Bir sınırdaki özellikler diğer sınıra aynı şekilde aktarılır.

Basınç Sınır Koşulu: Bir hesaplama alanında bir veya daha fazla sınırda bir basınç koşulunun belirlenebilmesi önemli ve kullanışlı bir hesaplama aracıdır. Basınç giriş sınır koşulu modelleme alanına giriş sınırında akışkan basıncının ve akımın diğer tüm özelliklerinin tanımlanabildiği bir sınır koşuludur.

Simetri Sınır Koşulu: Simetri sınır koşulunda, sınır boyunca herhangi bir sürükleme kuvveti oluşmamakta ayrıca sınır boyunca hız değişimleri meydana gelmediğinde herhangi bir türbülans üretimi meydana gelmemektedir.

Hacimsel Debi Sınır Koşulu: Tanımlanan sınır koşuluna bağlı olarak sınırdan çalışma alanına bir debi girişi meydana gelmektedir.

Duvar Sınır Koşulu: Duvar sınır koşulunda sınıra dik yöndeki hız bileşenleri sıfır olup sınır boyunca no-slip koşulu uygulanmaktadır.

Dalga Sınır Koşulu: Dalga sınır koşulu, kartezyen koordinat sistemindeki yüzey akış problemleri için sol (X Min), sağ (X Maks.), ön (Y min) ve arka (Y maks.) sınırlara bir sınır koşulu olarak tanımlanabilir. Dalga sınır koşulunun tanımladığı sınırda dalga yüzeyden çalışma alanına girecek ve sınıra dik yönde ilerleyecektir. Dalgalar lineer, Stokes, Cnoidal, Solitary ya da istenilen şekilde tanımlanabilir.
Diğer Sınır koşulları ise Dalga Çıkış Sınır Koşulu ve Hız Sınır Koşulu'dur.

3.1.3 Türbülans Modelleri

Türbülans, stabilize edici viskoz kuvvetlerin yetersiz kaldığı durumda meydana gelen akışkanların kaotik ve kararsız hareketleridir. Yüksek Reynolds sayılarında, akışkan içinde meydana gelen doğal kararsızlıklar sönümlenemez ve çeşitli boyutlarda girdapların oluşumu ile kendini gösterir.

Türbülansın meydana gelme olasılığı genellikle akımın Reynolds Sayısı ile belirlenir:

$$Re = \rho LU/\mu \quad (3.1)$$

Burada:
ρ akışkanın yoğunluğunu,
μ ise dinamik viskozitesini,
belirtmektedir.

L ve U parametreleri ise akım için karakteristik uzunluk ve akım hızını ifade etmektedir. L ve U değerleri biraz keyfi değerler olup tüm akış alanının tüm önemli özelliklerini karakterize eden tek değerleri olmayabilir. L ve U için iyi bir seçim, genellikle en güçlü kayma gerilmelerinin gözlemlendiği, yani viskoz kuvvetlerin en fazla etkiye sahip olması beklenen bölgeyi karakterize eden bir seçimdir.

Kabaca söylemek gerekirse 1000'in üzerindeki Reynolds sayısı muhtemelen çalkantılı iken, 100'ün altındaki bir Reynolds sayısı değildir. Laminer ve türbülanslı akışı ayıran kritik bir Reynolds sayısının gerçek değeri, akışı sınırlayan yüzeylerin doğasına ve akıştaki bozulmaların büyüklüğüne bağlı olarak büyük ölçüde değişebilir.

Tam gelişmiş türbülanslı bir akışta, genellikle farklı eddy yapılarının toplamları olarak karakterize edilen çalkantı hızları için bir dizi ölçek mevcuttur. L karakteristik bir makroskobik uzunluk ölçeği ve I viskoz etkilerin baskın olduğu ölçek olarak tanımlanan en küçük türbülanslı çevrintinin çapıysa, bu ölçeklerin oranının L/I≈Re3/4 mertebesinde olduğu gösterilebilir.

Ölçek aralığı için L/I≈Re3/4 ilişkisinden mütevazi bir Reynolds sayısı için bile örneğin Re=104 için aralığın L/I=103 olmak üzere üçüncü kuvvete ulaştığını görebilmekteyiz. Bu durumda, üç boyutlu bir hesaplamadaki tüm girdapları çözmek için gereken kontrol hacimlerinin sayısı 109'dan büyük olacaktır. Bu boyuttaki sayılar mevcut hesaplama yeteneklerinin çok ötesinde olduğundan türbülanslı akımı benzeştirmek amacıyla türbülans yaklaşım modelleri geliştirilmiştir.

Tek denklemli türbülans taşınım denklemi olmasına rağmen mühendislik çalışmalarında en başarılı hesaplama modelleri iki veya daha fazla taşınım denklemine sahip olan modellerdir. Türbülans prosesleri zaman ve uzunluk ölçekleri ile karakterize edildiğinden en az iki denkleme ihtiyaç duyulmaktadır. Şu an kullanılmakta olan birçok türbülans modeli mevcut olup türbülans modelinin seçimi göz önüne alınan çalışmanın fiziğine, akım türlerine,

hesaplama hassasiyeti, hesaplama için gerekli zaman ve bu hesaplamaları yapacak olan kaynaklara bağlıdır. Her bir türbülans modelinin kendine göre eksileri/artıları ve belirli limitleri bulunmaktadır.

Flow-3D yazılımında türbülans yaklaşımı için toplam 8 adet türbülans taşınım modeli mevcuttur. Bu modeller aşağıda sunulmaktadır:

Prandtl Karışım Uzunluğu Modeli (The Prandtl Mixing Length Model): Prandtl karışım uzunluğu modeli, üç boyutlu türbülans etkilerini tanımlamaya yönelik ilk girişimlerden biridir. Karmaşıklığı en az olan model olup artık yaygın olarak kullanılmamaktadır. Flow-3D'de akademik çalışmalarda kullanılması nedeniyle yer almaktadır.

Tek Denklem Modeli (One-equation Model): Tek denklem modeli türbülansı temsil eden en eski modellerden biridir. Tüm konumlarda bilinen bir türbülans karışım uzunluğuna (LT) ihtiyaç olup zaman ortalamalı olarak türbülans kinetik enerjisi k'yı hesaplar. LT genellikle önceden bilinmediğinden tek denklemli model karmaşık akışları modellemek için uygun bir model değildir.

Standart k-ε Modeli (Standard k- ε Model): Standart k- ε modeli bir yandan türbülans kinetik enerjisi k'yı hesaplarken diğer yandan türbülans yitimini hesaplamaktadır. Ayrıca bu modelde türbülans karışım uzunluğu (LT) dinamik olarak hesap edilmektedir. Endüstriyel hesaplamalı akışkanlar dinamiğinden tarihsel olarak en yaygın kullanılan türbülans modelidir.

RNG Modeli (Renormalized Group (RNG) k- ε Model): RNG k-ε modeli (Yakhot & Orszag, 1986, Yakhot & Smith, 1992) iki denklemli k-ε modelinin üzerinde birtakım iyileştirmelerin yapıldığı daha güçlü bir model olup, çoğu endüstriyel problemler için uygun bir yöntemdir.

k-ω İki Denklem Modeli (k-ω Two-equation Model): k-ω iki denklem modeli (Wilcox 1988, 1998, 2008) ikinci değişkeni türbülans yitimi ω olarak değil, ω= ε/k olarak tanımlamaktadır. Bu model günümüze kadar birçok kez değiştirilmiştir. Wilcox, modeli 1988'den beri geliştirmekte olup 1998 yılında modelin doğruluğunu önemli ölçüde arttıran yeni katsayılar tanıtmıştır.

LES Modeli (Large Eddy Simulation (LES) Model): LES modeli, atmosferik modelleme çalışmalarından ortaya çıkan bir türbülans modelidir. Bu modelde temel fikir, hesaplama gridi tarafından çözülebilen tüm türbülanslı akış yapılarının doğrudan ve hesaplanamayacak kadar küçük olan özelliklerin ise yaklaşık olarak hesaplanmasıdır. LES modelinin doğası gereği üç boyutlu ve zamana bağlı olduğunu hatırlamak önemlidir. Bunun yanı sıra, çalkantılar modelde başlangıç koşulu ve/veya giriş sınır koşullarında tanımlanmalıdır. Bu durum hesaplamalar açısından maliyetli olup yeterli çözünürlükte sık grid yapısı ve bu grid yapısına bağlı kısa hesaplama zaman adımları gerekmektedir.

İki boyutlu Derinlik Ortalamalı Sığ Su Türbülans Modeli (2-D Depth-averaged Shallow Water Turbulence Model): İki boyutlu derinlik ortalamalı sığ su türbülans modeli logaritmik değişen tam türbülanslı bir hız varsaymaktadır. İlk seçenek bölgesel olarak değişen sabit bir C_D sürükleme katsayısını varsaymaktadır.

İkinci İki boyutlu Derinlik Ortalamalı Sığ Su Türbülans Modeli (Second 2-D Depth-averaged Shallow Water Turbulence Model): İkinci iki boyutlu derinlik ortalamalı sığ su türbülans modeli sürükleme katsayısı C_D'yi su derinliğinin ve bölgesel olarak değişen yüzey pürüzlülüğünün bir dinamik fonksiyonu haline getirmektedir.

4. SAYISAL MODELLEME

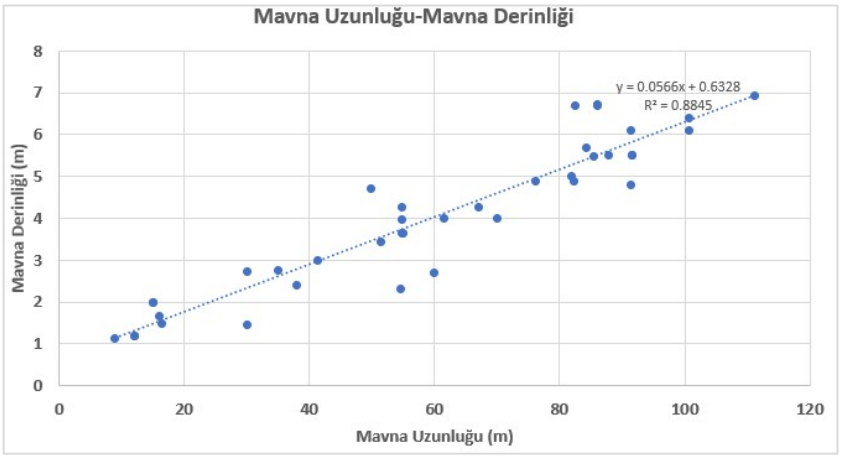
4.1 Sayısal Modelin Kurulumu

Sayısal modelin kurulumunda öncelikli olarak yüzer cismin boyutlarının ve tipinin, hesaplama grid boyutlarının, başlangıç koşulları ve sınır şartlarının seçilmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar bir akış şeması üzerinde Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

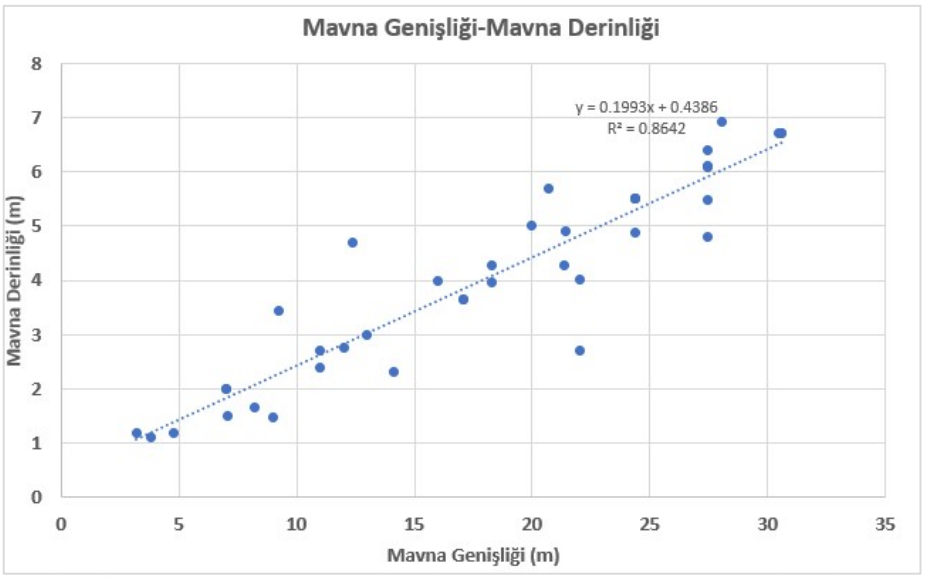
Şekil 4.1: Sayısal modellemeye ait akış şeması.

4.1.1 Yüzer Cisim Boyutlarının ve Tipinin Seçimi

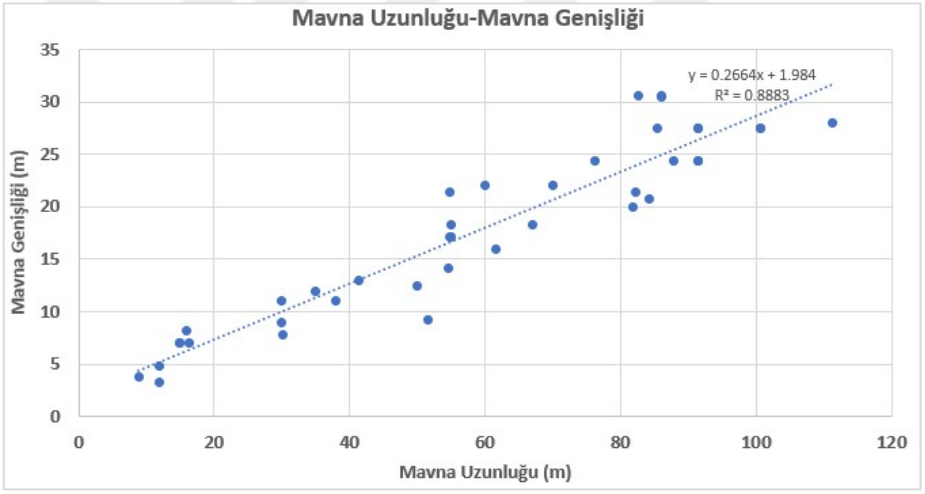
Yüzer cisimlerin boyutlarının seçilmesinde yüzer cisim boy, en ve derinlik değerlerinin kendi aralarındaki oranları ana etken olmakla birlikte çalışma alanı büyüklüğü, sayısal modelde kullanılacak hesaplama grid boyutları ve bu değerlere bağlı bilgisayar performans/zaman oranı da göz önüne alınmıştır. Bu doğrultuda yüzer cisim boyutları açısından bir literatür taraması gerçekleştirilmiş ve 40 farklı mavna için uzunluk/derinlik, genişlik/derinlik ve uzunluk/genişlik oranları çıkarılmıştır. 40 farklı mavna için elde edilen mavna uzunluk/ derinlik, genişlik/derinlik ve uzunluk/genişlik oranları sırasıyla Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te sunulmaktadır.



Şekil 4.2: Mavna uzunluğunun mavna derinliğiyle karşılaştırılması.



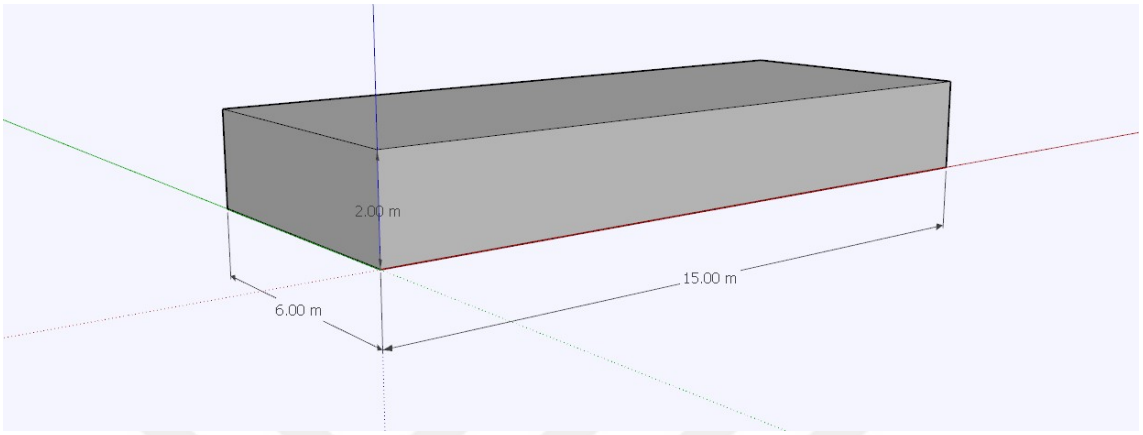
Şekil 4.3: Mavna genişliğinin mavna derinliğiyle karşılaştırılması.



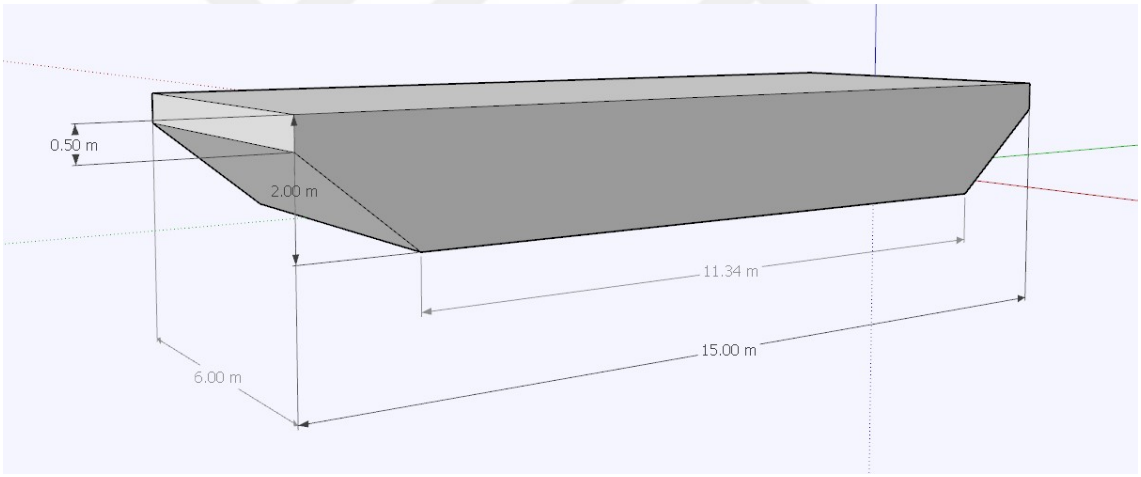
Şekil 4.4: Mavna uzunluğunun mavna genişliğiyle karşılaştırılması.

Hidrodinamik ve hidromorfolojik etkilerin inceleneceği çalışmada grid boyutlarının söz konusu fiziği yakalayacak boyutta olması gerekmekte aynı zamanda model çalışma sürelerinin optimum bir aralıkta yer alması istenmektedir. Yüzer cisim boyutlarının seçimi, çalışma alanı büyüklüğü ve grid boyut optimizasyonu ile bağlantılı olduğundan mümkün olduğunca küçük boyutlarda fakat ilgili etkilerin yakalanabileceği büyüklükte bir yüzer cisim seçimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca model senaryoları içerisinde yüzer cisim tip ve boyutlarının değişimi bir parametre olarak göz önüne alınmıştır. Yüzer cisim baş yapısı küt ve eğimli olmak üzere iki farklı şekilde oluşturulmuştur. Yüzer cisim boyutları ilgili senaryolarda değiştirilecek olup bir numaralı yüzer cisim, baş yapısı küt olan 15 m uzunluk,

6 m genişlik ve 2 m derinliğe sahip bir yüzer cisim, iki numaralı yüzer cisim ise baş yapısı eğimli olan 15 m uzunluk, 6 m genişlik ve 2 m derinliğe sahip bir yüzer cisim olarak seçilmiştir. Baş yapısı küt olan bir numaralı yüzer cisim Şekil 4.5'de, baş yapısı eğimli olan iki numaralı yüzer cisim ise Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



Şekil 4.5: Baş yapısı küt olan bir numaralı yüzer cisim (izometrik görünüm).



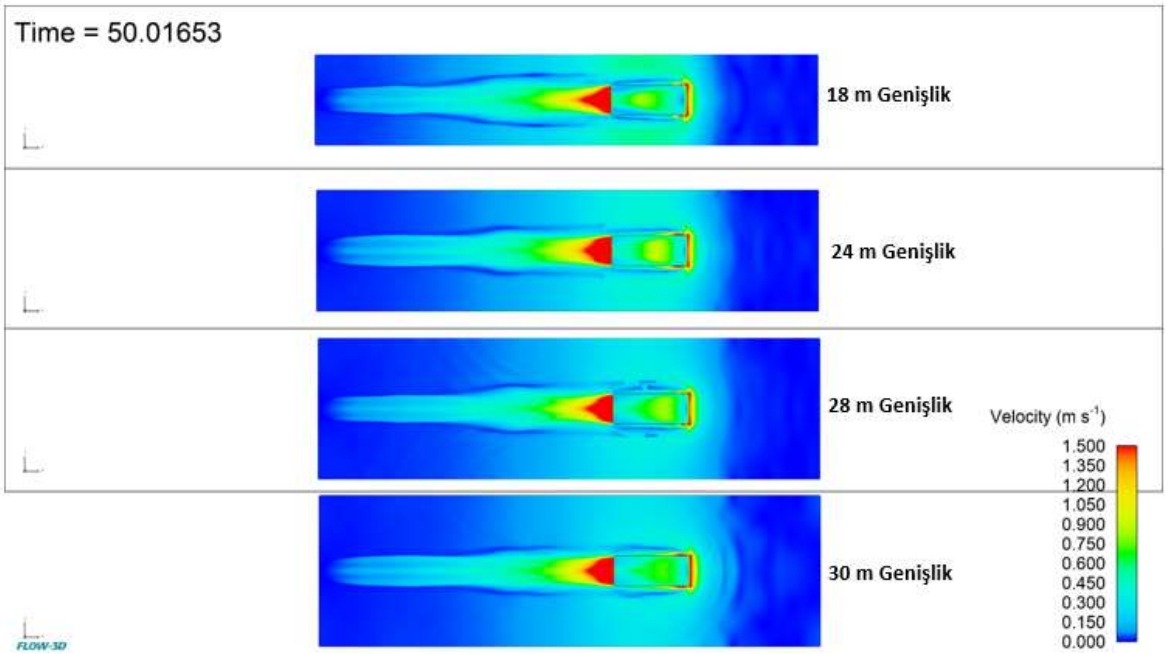
Şekil 4.6: Baş yapısı eğimli olan iki numaralı yüzer cisim (izometrik gürünüm).

4.1.2 Çalışma Alanının Seçimi

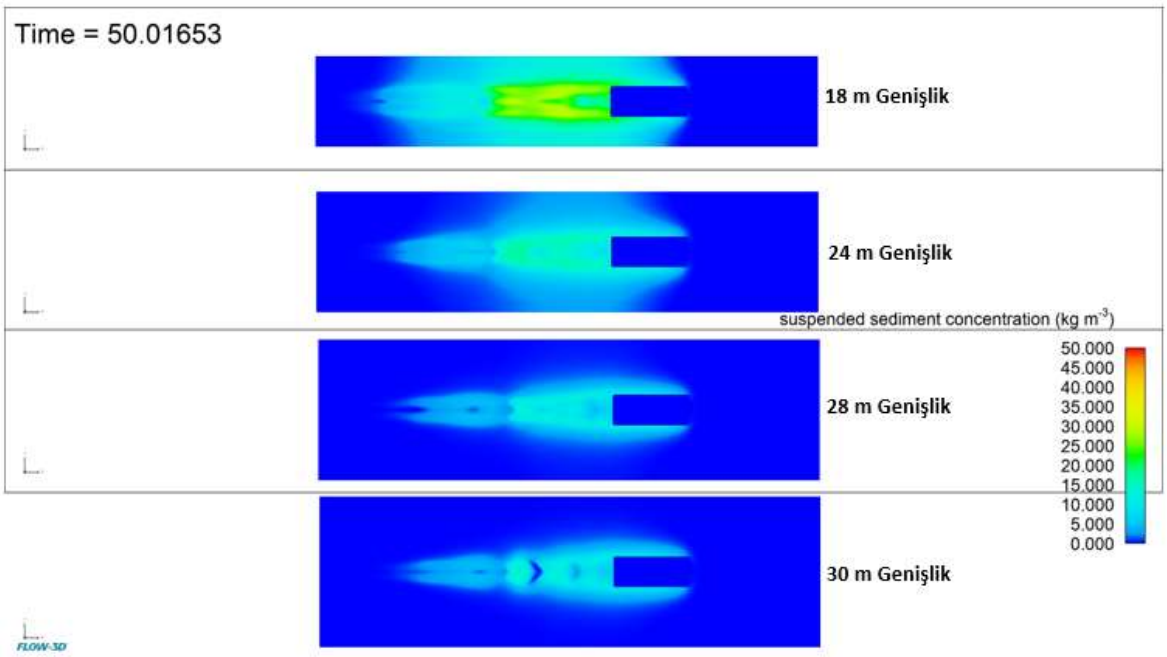
Çalışma alanının boyutları, doktora tezi kapsamında incelenecek parametrelerin gözlemlenmesine olanak sağlayacak zaman aralığını kapsayacak büyüklükte olmalıdır. Bunun yanı sıra incelenecek parametrelerin gözlemlendiği gözlem alanı, model sınırlarında sınır koşullarına bağlı meydana gelebilecek olası etkilerden etkilenmeyecek boyutlarda yer almalıdır. Doktora tezinde göz önüne alınan yüzer cismin çekilme hızı maksimum 2 m/s olarak göz önüne alınacaktır. 2 m/s çekilme hızına 25 s'de ulaşacak olan yüzer cisim, 25 s

daha 2 m/s hız ile çekilmeye devam edilecektir. Yüzer cismin toplamda alacağı yol düşünülerek çalışma alanının uzunluğu 100 m olarak seçilmiştir.

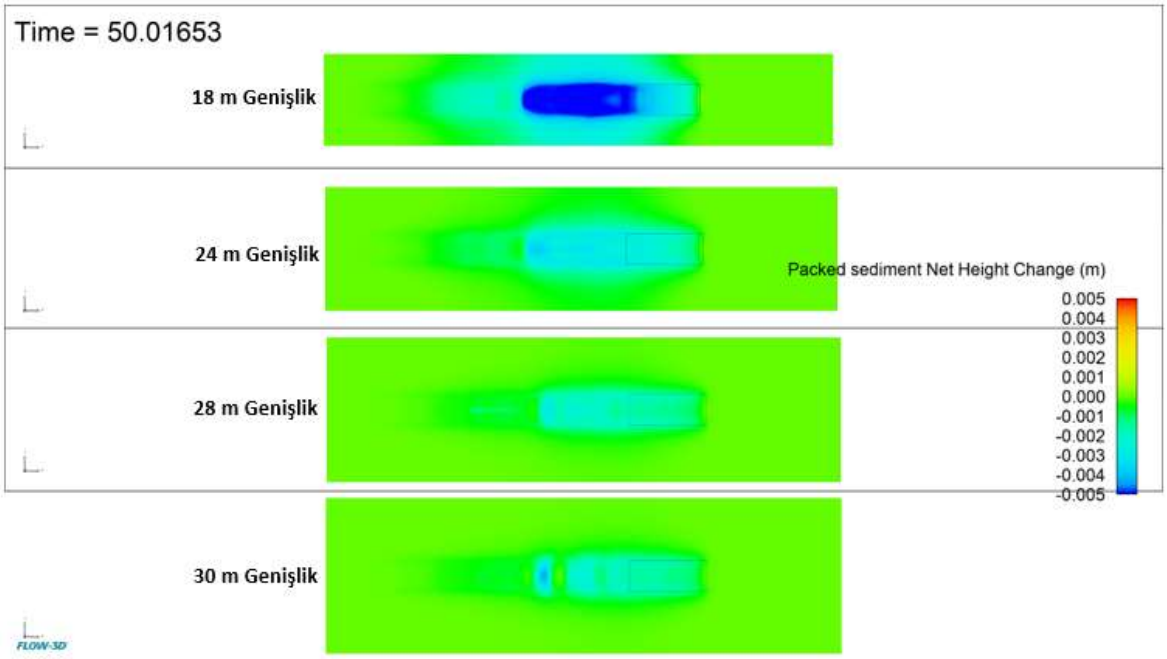
Çalışma alanının genişliğinin belirlenmesi amacıyla ilk etapta dört farklı genişliğe sahip dört farklı sayısal model oluşturularak çalışma alanı genişliğinin hidrodinamik ve hidromorfolojik sonuçlara etkileri incelenmiştir. Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9'da sırasıyla model süresi sonunda meydana gelen akım hızları, askıdaki katı madde konsantrasyonları ve tabanda meydana gelen morfolojik (erozyon/birikme) değişimler plan görüntüsü ile sunulmaktadır. Bu çalışmada, baş yapısı küt olan yüzer cisim kullanılmış olup, yüzer cismin çekilme hızı 1,5 m/s, yüzer cismin temiz açıklığı 0,90 m, hesaplama ağı (grid) büyüklükleri 0,18 m, katı madde medyan dane çapı 0,0625 mm olarak göz önüne alınmıştır.



Şekil 4.7: Dört farklı çalışma alanı genişliğinde her bir alanda meydana gelen akım hızlarının değişimi, plan görünümü.

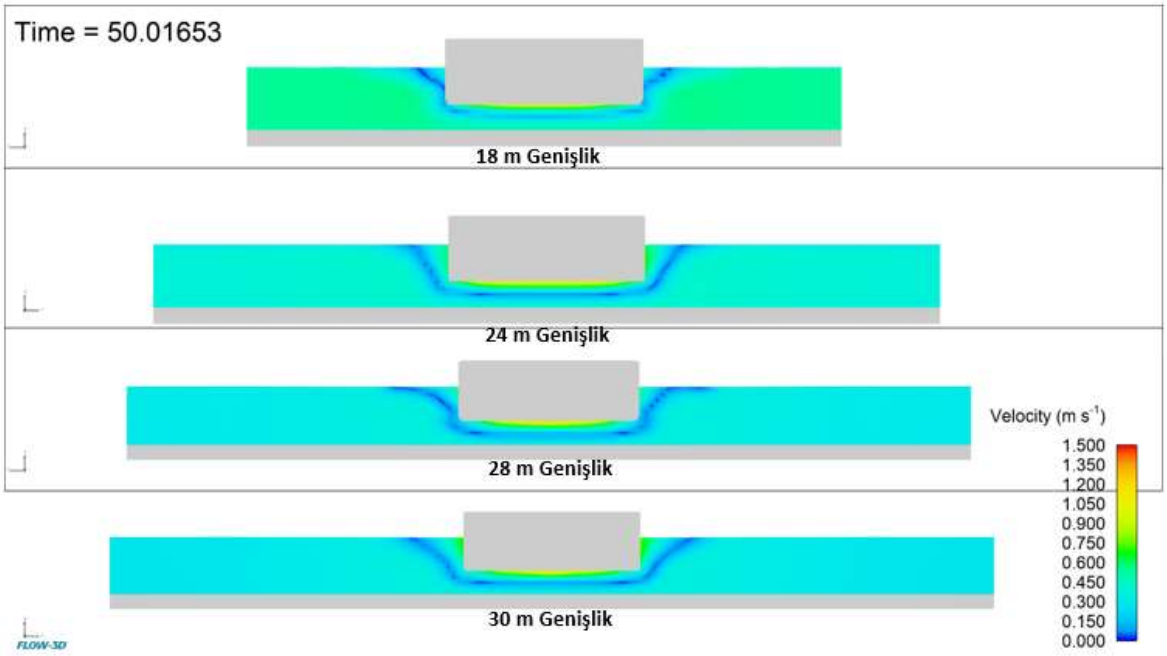


Şekil 4.8: Dört farklı çalışma alanı genişliğinde her bir alanda meydana gelen askıdaki katı madde konsantrasyonlarının değişimi, plan görünümü.

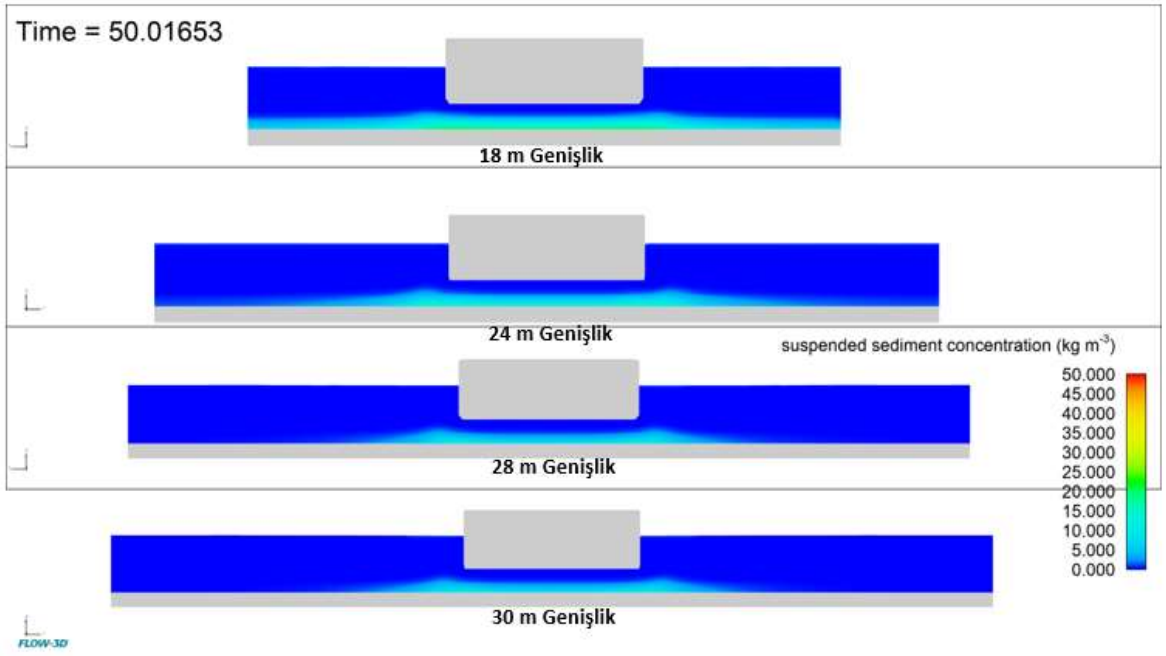


Şekil 4.9: Dört farklı çalışma alanı genişliğinde her bir alanda meydana gelen morfolojik değişimler, plan görünümü.

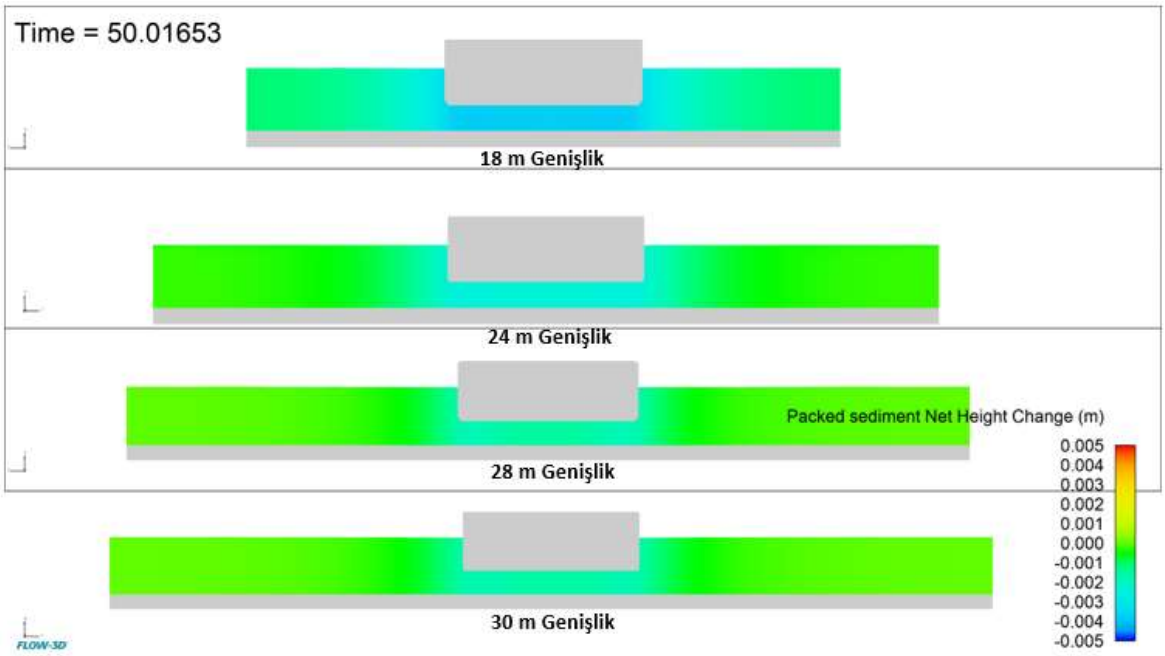
Modelleme zamanı sonunda, başlangıçtan 60 m ileride ve yüzer cismi de içine alacak şekilde (y) ekseni boyunca bir kesit alınarak akım hızları, askıdaki katı madde konsantrasyonları ve tabanda meydana gelen morfolojik değişimler incelenmiştir. Şekil 4.10~12'de sırasıyla akım hızları, askıdaki katı madde konsantrasyonları ve tabanda meydana gelen morfolojik değişimler gösterilmektedir.



Şekil 4.10: Dört farklı çalışma alanı genişliğinde her bir alanda meydana gelen akım hızlarının kesit görünümü.



Şekil 4.11: Dört farklı çalışma alanı genişliğinde her bir alanda meydana gelen askıdaki katı madde konsantrasyonlarının kesit görünümü.



Şekil 4.12: Dört farklı çalışma alanı genişliğinde her bir alanda meydana gelen morfolojik değişimlerin kesit görünümü.

Şekil 4.6~4.9 arasında yer alan model çıktıları incelendiğinde 18 m ve 24 m genişliğe sahip çalışma alanlarında model sınırlarında meydana gelen etkiler (yansıma vb.) yüzer cisim hareketlerini ve dolayısıyla tabanda meydana gelen morfolojik değişimleri etkilemektedir. Fakat alanın 28 m'den daha geniş seçilmesi durumunda bu etkiler yok olmaktadır. Özellikle askıdaki katı madde konsantrasyonlarının verildiği model çıktılarında bu etki rahat bir şekilde gözlemlenmektedir. Bu nedenle, model çalışma süreleri de göz önüne alınarak çalışma alanı genişliği 28 m olarak seçilmiştir.

Çalışma alanı derinliği, yüzer cismin derinliği, su çekimi, temiz açıklığı ve çökme (squat) etkilerine bağlı olarak 2 m seçilmiştir.

4.1.3 Hesaplama Grid Boyutlarının Seçimi

Hesaplama grid boyutların belirlenmesindeki en önemli etken, incelenmesi ve araştırılması yapılacak fiziğin sağlıklı bir şekilde temsil edilmesini sağlayabilecek nitelik ve boyutlara sahip olmasıdır. Daha hassas grid elemanlarına sahip grid yapısının, gerçekte (doğada) meydana gelen fiziği daha doğru temsil edebildiği kanısı her zaman doğru olmasa da genel bağlamda kabul edilebilir bir durumdur. Sayısal modellerde grid boyutlarının hem incelenen fiziği en iyi şekilde yakalayabilecek bir yapıda, hem de model çalışma süreleri açısından optimum bir aralıkta olması istenmektedir. Bu optimum noktanın belirlenebilmesi amacıyla

da grid boyutları ve yapısı açısından bir hassasiyet analizi çalışması gerçekleştirilmektedir. Hassasiyet analizi başlangıcında, incelenecek fiziğe göre bir grid yapısı ve grid boyutu belirlenmekte, daha sonra grid boyutları belirli aralıklar ile azaltılarak sayısal model sonuçları (istenilen fiziğin ya da mevcut ise istenilen fiziksel deney sonuçlarının yakalandığı durumlar için) ve model çalışma süreleri açısından bir karşılaştırma yapılmaktadır. Bu karşılaştırmada, birbirine çok yakın ya da herhangi bir farklılık içermeyen sonuçlar görüldüğü noktada çalışma sona erdirilmektedir. Bir önceki grid boyutları kullanılarak elde edilen model sonuçları ile grid elemanları daha hassaslaştırılarak elde edilen model sonuçları arasındaki farklılık çok düşük olduğu ya da bir farklılık göstermediği durumlarda modelleme süreleri açısından da bir karşılaştırma yapılmakta ve grid hassasiyet analizi açısından bir optimizasyon noktası belirlenmektedir. Özetle, grid boyutlarının istenilen fiziği inceleyebilecek hassasiyette olduğu fakat aynı zamanda model çalışma sürelerini arttıracak haddinden fazla hassasiyetten uzak olduğu optimum bir nokta belirlenmektedir. Grid büyüklükleri ve yapısı belirlenirken dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise yüksek kayma gerilmesi, yoğun türbülans, katı-sıvı arayüz bölgesi vb. gibi değişken hidrodinamik koşulların görüldüğü bölgelerde, o bölgedeki fiziğin en iyi şekilde temsil edilebilmesi amacıyla grid hassaslaştırma işleminin gerçekleştirilmesidir. Örneğin bu doktora tezi çalışma kapsamında incelenecek parametrelerden biri olan katı madde hareketi; yüksek akım hızı, kayma gerilmesi ve yoğun türbülansın gözlemlendiği yüzer cismin altında yer alan deniz tabanında yoğun olarak gözlemlenecektir. Bu nedenle, yüzer cismin altında deniz tabanında yer alan bölgelerin daha hassas çözünürlüğe sahip grid elemanları ile temsil edilmesi gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesi açısından önemli bir adım olacaktır. Söz konusu iki bilgi ışığında, istenilen fiziğin doğru temsil edilebilmesi ve model çalışma süreleri açısından bir optimizasyon sağlamak amacıyla ilk olarak 11 farklı model yardımıyla hidrodinamik, hidromorfolojik ve modelleme zamanı açısından bir karşılaştırma gerçekleştirilmiştir.

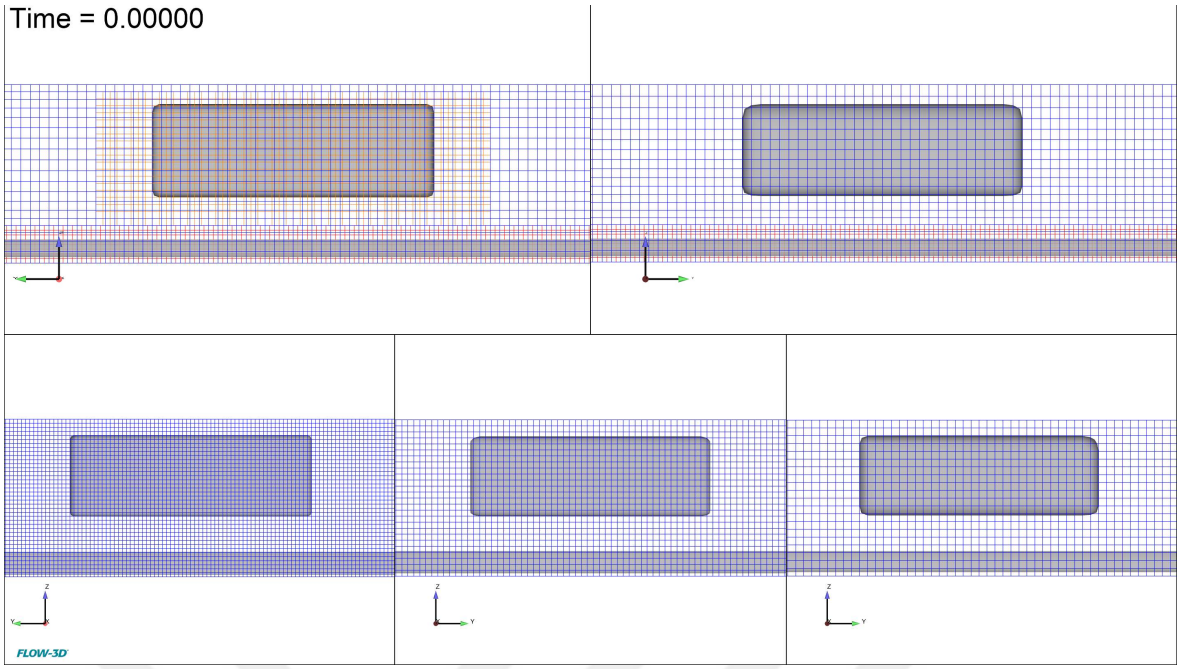
Söz konusu çalışmalarda, çalışma alanı boyutları 100 m uzunluk, 28 m genişlik ve 3,90 m derinlik (2 m su derinliği) olarak göz önüne alınmış, baş yapısı küt olan yüzer cisim seçilerek, çekilme hızı 2 m/s, temiz açıklığı 0,90 m ve katı madde medyan dane çapı 0,0625 mm (ilk 6 çalışma) olarak göz önüne alınmıştır. Tablo 4.1'de grid boyutlarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen ilk 6 çalışmaya ait grid eleman sayıları ve model çalışma süreleri gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Grid boyutlarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen ilk 6 senaryo için grid yapısı, grid eleman sayıları ve model çalışma süreleri.

Çalıma Numarası	Grid Yapısı	Grid Eleman Sayısı	Model Çalışma Süresi
1	0,09 m ile 0,18 m Büyüklüğünde Grid Elemanları ile 2 Farklı Grid Yapısı	2.743.209	7 saat 20 Dakika
2	0,10 m ile 0,20 m Büyüklüğünde Grid Elemanları ile 4 Farklı Grid Yapısı - İlk 50 m Tabanda Oyulabilir Bir Malzeme Tanımlı Değil	3.220.000	5 saat 20 Dakika
3	0,10 m ile 0,20 m Büyüklüğünde Grid Elemanları ile 2 Farklı Grid Yapısı - 50 m'den Sonra Tabanda Daha Hassas (0,10 m) Grid Elemanları	3.351.840	11 saat 24 Dakika
4	0,10 m ile 0,20 m Büyüklüğünde Grid Elemanları ile 2 Farklı Grid Yapısı - 100 m Boyunca Tabanda Daha Hassas (0,10 m) Grid Elemanları	4.233.920	19 saat 16 Dakika
5	0,15 m ile 0,30 m Büyüklüğünde Grid Elemanları ile 2 Farklı Grid Yapısı - 100 m Boyunca Tabanda Daha Hassas (0,15 m) Grid Elemanları	1.294.362	2 saat 59 Dakika
6	0,10, 0,15 ve 0,20 m Büyüklüğünde Grid Elemanları ile 3 Farklı Grid Yapısı - Tabanda Tüm Alan Boyunca Daha Hassas (0,10 m), Mavna Yakınında Nispeten Daha Hassas (0,15) m ve Diğer Bölümlerde 0,20 m Grid Elemanları	4.212.680	16 saat 47 Dakika

Farklı grid boyutlarında, yüzer cismin katı cidar-akışkan arayüzünün sayısal modelde temsilinde farklılıklar meydana geldiğinden (daha hassas grid, gerçeğe daha yakın temsil), yüzer cisim hareketine bağlı yüzer cisim yakınındaki akım hızları, su seviyesi değişimleri ve kayma gerilmeleri gibi hidrodinamik etkilerin temsilinde de farklılıklar meydana gelmektedir. Örneğin, grid boyutlarının büyümesi neticesinde, akıma bağlı olarak yüzer cisimde görülen çökme (squat) etkisinin azaldığı, yüzer cismin tabana daha az yaklaşması neticesinde de yüzer cisim altındaki akım hızlarının ve buna bağlı olarak tabandaki kayma gerilmelerinin düştüğü ayrıca gemi baş dalgalarının formlarında da bozulmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir.

İlk 6 çalışma neticesinde grid boyutlarının, yüzer cisim hareketi neticesinde meydana gelen hidrodinamiğe ve hidromorfolojiye oldukça etki ettiği ve bu durumun daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerektiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle sadece yüzer cisim hareketi neticesinde meydana gelen hidrodinamiği farklı grid boyutlarında ayrıntılı olarak incelemek amacıyla katı madde hareketinin göz önüne alınmadığı 5 farklı çalışmanın daha yapılmasına karar verilişitir.



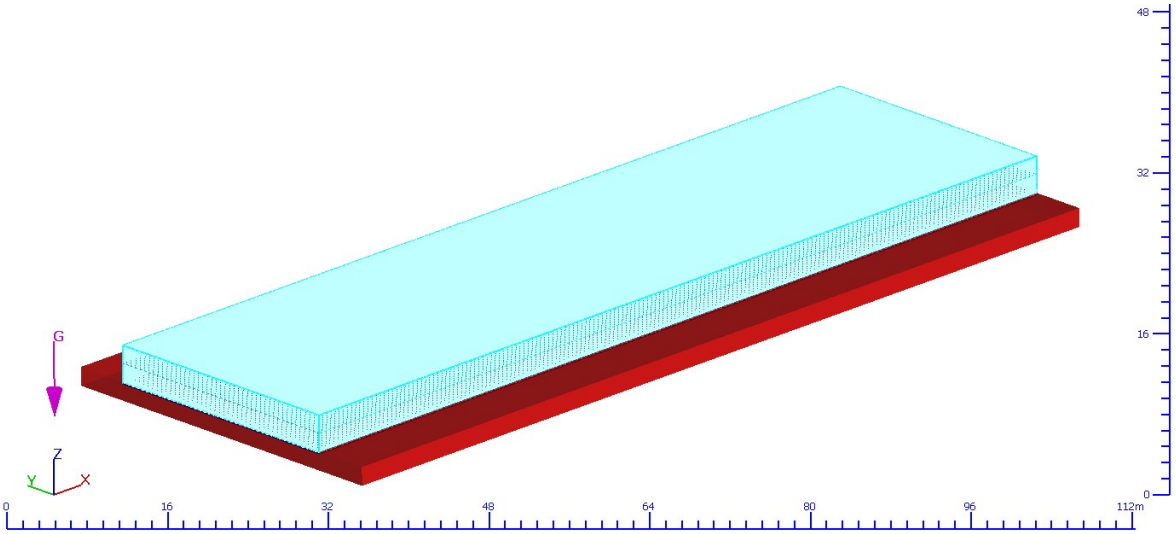
Şekil 4.13: Katı madde hareketinin göz önüne alınmadığı 5 farklı çalışma için oluşturulan hesaplama gridlerinin yandan görünümü.

Tablo 4.2: Katı madde hareketinin göz önüne alınmadığı 5 farklı çalışmaya ait grid yapısı, grid eleman sayıları ve model çalışma süreleri.

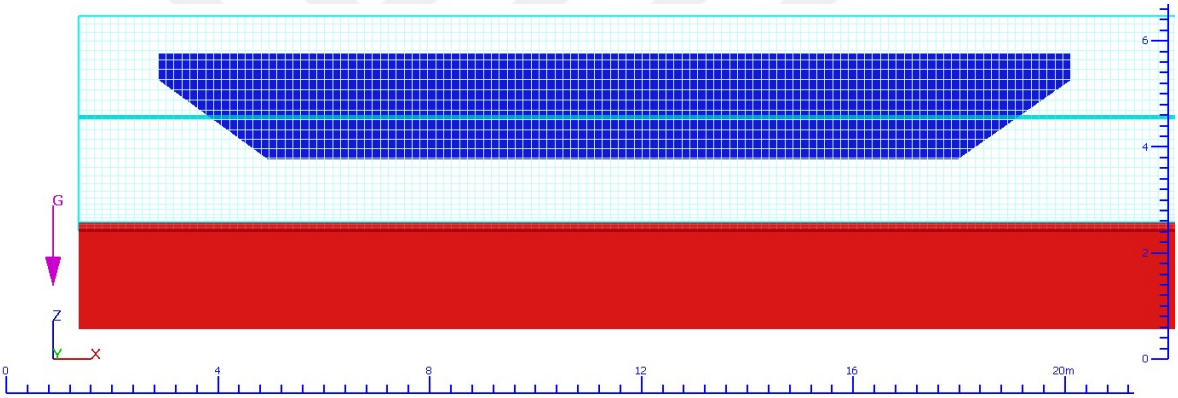
Çalıma Numarası	Grid Yapısı	Grid Eleman Sayısı	Model Çalışma Süresi
7	Tüm Çalışma Alanında 0,10 m Büyüklüğünde Grid Elemanları	10.920.000	18 saat 33 Dakika
8	Tüm Çalışma Alanında 0,15 m Büyüklüğünde Grid Elemanları	3.242.954	2 saat 42 Dakika
9	Tüm Çalışma Alanında 0,20 m Büyüklüğünde Grid Elemanları	1.400.000	51 Dakika
10	0,10 m, 0,15 ve 0,20 m Büyüklüğünde Grid Elemanları ile 3 Farklı Grid Yapısı - Tabanda Tüm Alan Boyunca Daha Hassas (0,10 m), Mavna Yakınında Nispeten Daha Hassas (0,15 m) ve Diğer Bölgelerde 0,20 m Grid Elemanları	4.212.680	12 saat 20 Dakika
11	0,10 m ile 0,20 m Büyüklüğünde Grid Elemanları ile 2 Farklı Grid Yapısı - 100 m Boyunca Tabanda Daha Hassas (0,10 m) Grid Elemanları	3.511.504	7 saat 17 Dakika

11 farklı çalışma yardımıyla yüzer cisim kaynaklı çalışma alanında meydana gelen hidrodinamik ve hidrdomorfolojik etkiler incelenmiş ayrıca model çalışma süreleri karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde grid boyutlarının tüm çalışma alanında aynı olacak şekilde göz önüne alınması ve taban yakınındaki ilgili fiziğin yakalanabilmesi amacıyla bu bölgede grid boyutlarının sıklaştırılarak 0,0375 m değerine indirildiği bir grid yapısı belirlenmiştir. Buna göre taban yakınında 0,0375 m, deniz yüzeyinde 0,15 m boyutlarında değişken büyüklüklere sahip bir grid yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan grid

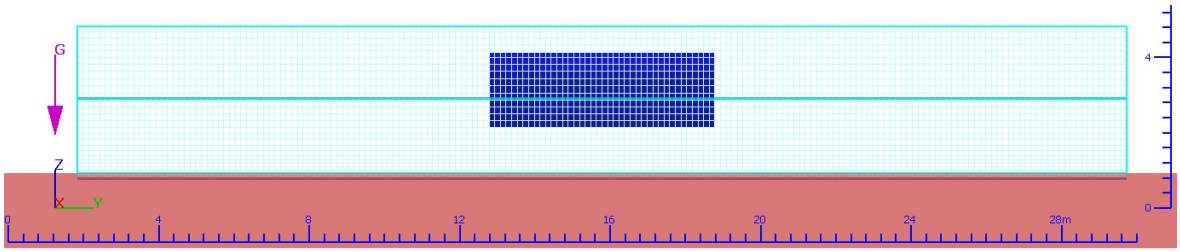
yapısına göre çalışma alanında 3.597.798 eleman sayısı bulunmaktadır. Sayısal model çalışmalarında kullanılan grid yapısı Şekil 4.14~Şekil 4.17'de ayrıntılı olarak sunulmaktadır.



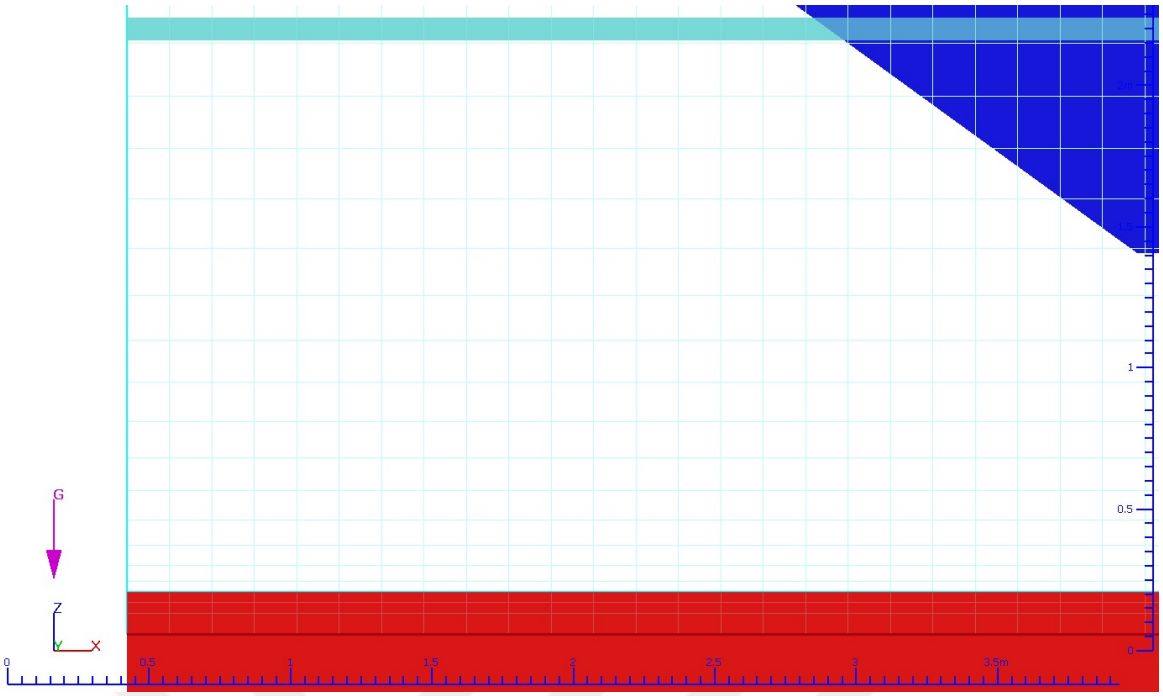
Şekil 4.14: Sayısal modelde kullanılan grid yapısı (izometrik görünüm).



Şekil 4.15: Sayısal modelde kullanılan grid yapısı (yandan görünüm).



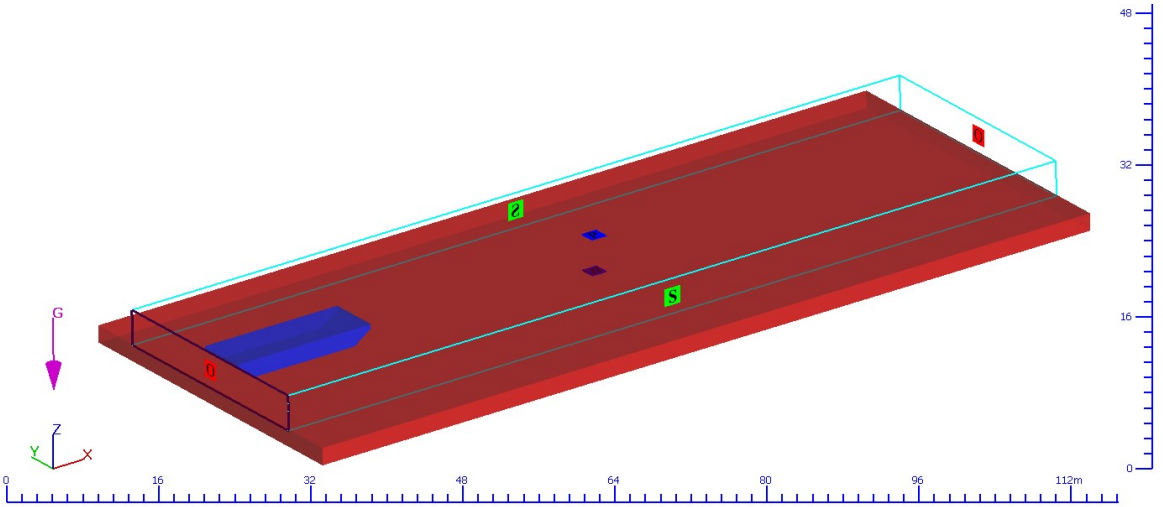
Şekil 4.16: Sayısal modelde kullanılan grid yapısı (önden görünüm).



Şekil 4.17: Taban yakınında sıklaştırılan grid yapısı (yandan görünüm).

4.1.4 Sınır Şartları

Bu doktorada kapsamında göz önüne alınan sayısal model çalışmalarında atmosferik basınç haricinde çalışma alanına etkiyen herhangi bir dış kuvvet bulunmadığından, minimum Z-Eksenindeki sınırda "duvar" sınır koşulu, maksimum Z-Eksenindeki sınırda ise "atmosferik basınç" sınır koşulu, minimum ve maksimum Y-Eksenindeki sınırlarda "simetri" sınır koşulu, minimum ve maksimum X-Eksinindeki sınırlarda ise "çıkış (outflow)" sınır koşulları tanımlanmıştır. Her bir sınırda tanımlanan sınır koşulları, yüzer cisim ve deniz tabanı ile birlikte Şekil 4.18'de gösterilmektedir. Şekil 4.18'de kırmızı ile gösterilen alan deniz tabanını, mavi renkle gösterilen cisim ise yüzer cismi göstermektedir.



Şekil 4.18: Çalışma alanı sınırlarında tanımlanan sınır koşulları, çalışma alanı ve yüzer cisim.

4.1.5 Türbülans Modeli ve Sayısal Modelde Kullanılan Parametreler

Bu doktora tezi kapsamında oluşturulan tüm modellerde, Renomalization Gorup (RNG) türbülans modeli kullanılmıştır. RNG türbülans modeli, k - ε türbülans modelinde kullanılan sayısal denklemlere oldukça benzer denklemler kullanmaktadır. Fakat standart k - ε türbülans modelinde bulunan denklem katsayıları ampirik ifadeler yardımıyla bulunuyorken, RNG modelinde bu katsayılar doğrudan türetilmektedir. İki denklemli RNG türbülans modeli denklem (4.1) ve (4.2)'de sunulmaktadır.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] + P_k - \rho\varepsilon \tag{4.1}$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial(\varepsilon)}{\partial x_j}\right] + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}P_k - C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} \tag{4.2}$$

Burada;

k türbülans kinetik enerjisini, ε yayılım oranını, ρ yoğunluk, t zaman, x_i (i) eksenindeki koordinatı, μ dinamik viskoziteyi, μ_t türbülans dinamik viskozitesini, P_k ise türbülans kinetik enerjisinin üretim terimini göstermektedir. $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ ve $\sigma_k = \sigma_\varepsilon$ sırasıyla 1,42, 1,68, 1,39'dur. Türbülans viskozitesi Cμ=0,085 değerini kullanarak (4.3)'de verilen denklem vasıtasıyla hesap edilmektedir:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{K^2}{\epsilon} \tag{4.3}$$

Flow-3D yazılımı, karmaşık yapıdaki katı geometrilerin modelde temsil edilebilmesi için STL (StereoLithograpghy) uzantılı dosyaların kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada, yüzer cisim ve deniz tabanı geometrisi STL formatında hazırlanmıştır. Yüzer cisim simetrik olacak şekilde Y ekseni üzerinde tam ortaya yerleştirilmiştir. Çalışma alanında herhangi bir meteorolojik olayın gelişmediği kabulü yapılmış, atmosferik basınç haricinde rüzgar, akıntı, dalga vb. gibi etkenler sayısal modelde göz önüne alınmamıştır.

Flow-3D yazılımında yüzer cisim, genel hareket eden cisim (General Moving Object, GMO) olarak tanımlanmaktadır. Yazılımda yüzer cisme önceden bir hareket tanımlanabildiği gibi yüzer cismin akım ile dinamik olarak karşılıklı etkileşim halinde hareket etmesi de mümkündür. Bu hareket 6 serbestlik derecesinde tanımlanabildiği gibi tek bir eksenden ya da tek bir noktadan da tanımlanabilmektedir. Karşılıklı, birlikte hareketin (coupled motion) modellendiği durumda yüzer cisim üzerine etkiyen bir kuvvet ya da tork tanımlanabilmektedir. GMO modeli birden fazla rijit cismin bağımsız hareketlerine ya da

çarpışma, sürekli temas gibi rijit yapı etkileşimine izin vermektedir. Bu doktora tezi çalışmaları kapsamında, tüm senaryolarda aynı olacak şekilde yüzer cisim "X" ekseni boyunca çekilmektedir. Yüzer cismin Y ekseni boyunca ötelenmesi ve Z ekseni boyunca yapacağı dönme hareketi kısıtlanmış, diğer yönlerdeki hareket ve dönmeleri serbest bırakılmıştır.

Çalışmalarda göz önüne alınan katı maddelerin medyan dane çapı tüm alanda aynı olacak şekilde 0,0625 mm, özgül ağırlığı 2650 kg/m^3, taban yük taşınım katsayısı 0,06 ve sürükleme katsayısı 0,018 olarak göz önüne alınmıştır. Kritik Shields parametresi (ilk katı madde hareketinin gözlemlendiği boyutsuz kritik kayma gerilmesi) her bir hesap adımında Soulsby-Whitehouse (1997) formülü kullanılarak hesaplanmaktadır. Katı madde taşınım formülü olarak Van Rijn Taşınım Denklemi kullanılmıştır. Sayısal modelleme çalışmalarında kullanılan parametreler Tablo 4.3'de gösterilmektedir.

Tablo 4.3: Sayısal modelleme çalışmalarında kullanılan model parametreleri.

Katı Madde Tür Sayısı	Katı Madde Medyan Dane Çapı (D_{50}, mm)	Katı Madde Özgül Ağırlığı (kg/m^3)	Kritik Shields Parametresi	Sürükleme Katsayısı	Taban Yük Taşınım Katsayısı	Kayma Direnci Açısı (°)	Katı Madde Taşınım Formülü	Nikuradse Eşdeğer Pürüzlülük Değeri	Dış Kuvvetler (Rüzgar, Dalga, Akıntı, vb. gibi)
1	0,0625	2650	Her Bir Hesap Adımında Soulsby-Whitehouse Denkleminden	0,018	0,06	40	Van Rijn (1984)	2,5	Yok

4.2 Sayısal Model Senaryoları

Senaryolarda yüzer cismin boyutlarının, şeklinin, hızının ve tabanının deniz zeminine olan mesafesi (temiz açıklık) ayrıca katı madde çapları değiştirilerek yüzer cismin seyri nedeniyle askıya kalkan katı madde miktarları belirlenmiştir.

Senaryoların takibinin kolaylaştırılması amacıyla senaryo adları aşağıda gösterilen şekilde oluşturulmuştur:

"S-2_kut_U15_G6_H2.0_TA0.4" burada;

S: Senaryo,

1,2,3…: Senaryo Numaraları,

Kut/eğimli: Yüzer cisim tipi,

U: Yüzer cisim uzunluğu (m),

G: Yüzer cisim genişliği (m),

H: Yüzer cismin çekilme hızı (m/s),

TA: Temiz açıklık (m),

Sayısal modelde, yüzer cismin tabanının deniz tabanına olan uzaklığını ayarlamak amacıyla yüzer cismin yoğunlukları değiştirilmiştir. Tüm senaryolarda ivmeler aynı tutularak ivmelenmeye bağlı model sonuç farklılıkları giderilmiştir. Model süreleri, yüzer cismin çekilme hızlarına bağlı olarak 100 m uzunluğundaki model çalışma alanına göre belirlenmiştir.

Sayısal model senaryoları Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'de gösterilmektedir.

Tablo 4.4: Sayısal model senaryoları, 1-48 numaralı senaryolar.

Senaryo Tam Ad	Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Yüzer Cismin Uzunluğu (m)	Yüzer Cismin Genişliği (m)	Yüzer Cismin Çekilme Hızı (m/s)	Yüzer Cismin Tabanının Deniz Tabanına Olan Mesafesi (Temiz Açıklık) (m)	Model Süresi	İvmelenme Süresi (s)	Yüzer Cismin Yoğunluğu (kg/m^3)
S-1_kut_U15_G6_H2.0_TA0.4	Senaryo-1					0.4	50.00	25.00	808.00
S-2_kut_U15_G6_H2.0_TA0.8	Senaryo-2	Küt Baş	15	6	2	0.8	50.00	25.00	606.00
S-3_kut_U15_G6_H2.0_TA1.0	Senaryo-3					1.0	50.00	25.00	404.00
S-4_kut_U15_G6_H2.0_TA1.2	Senaryo-4					1.2	50.00	25.00	303.00
S-5_kut_U15_G6_H1.5_TA0.4	Senaryo-5					0.4	59.38	18.75	808.00
S-6_kut_U15_G6_H1.5_TA0.8	Senaryo-6	Küt Baş	15	6	1.5	0.8	59.38	18.75	606.00
S-7_kut_U15_G6_H1.5_TA1.0	Senaryo-7					1.0	59.38	18.75	404.00
S-8_kut_U15_G6_H1.5_TA1.2	Senaryo-8					1.2	59.38	18.75	303.00
S-9_kut_U15_G6_H1.0_TA0.4	Senaryo-9					0.4	81.25	12.50	808.00
S-10_kut_U15_G6_H1.0_TA0.8	Senaryo-10	Küt Baş	15	6	1	0.8	81.25	12.50	606.00
S-11_kut_U15_G6_H1.0_TA1.0	Senaryo-11					1.0	81.25	12.50	404.00
S-12_kut_U15_G6_H1.0_TA1.2	Senaryo-12					1.2	81.25	12.50	303.00
S-13_kut_U15_G6_H0.5_TA0.4	Senaryo-13					0.4	153.13	6.25	808.00
S-14_kut_U15_G6_H0.5_TA0.8	Senaryo-14	Küt Baş	15	6	0.5	0.8	153.13	6.25	606.00
S-15_kut_U15_G6_H0.5_TA1.0	Senaryo-15					1.0	153.13	6.25	404.00
S-16_kut_U15_G6_H0.5_TA1.2	Senaryo-16					1.2	153.13	6.25	303.00
S-17_kut_U15_G6.9_H2.0_TA0.4	Senaryo-17					0.4	50.00	25.00	808.00
S-18_kut_U15_G6.9_H2.0_TA0.8	Senaryo-18	Küt Baş	15	6.9	2	0.8	50.00	25.00	606.00
S-19_kut_U15_G6.9_H2.0_TA1.0	Senaryo-19					1.0	50.00	25.00	404.00
S-20_kut_U15_G6.9_H2.0_TA1.2	Senaryo-20					1.2	50.00	25.00	303.00
S-21_kut_U15_G6.9_H1.5_TA0.4	Senaryo-21					0.4	59.38	18.75	808.00
S-22_kut_U15_G6.9_H1.5_TA0.8	Senaryo-22	Küt Baş	15	6.9	1.5	0.8	59.38	18.75	606.00
S-23_kut_U15_G6.9_H1.5_TA1.0	Senaryo-23					1.0	59.38	18.75	404.00
S-24_kut_U15_G6.9_H1.5_TA1.2	Senaryo-24					1.2	59.38	18.75	303.00
S-25_kut_U15_G6.9_H1.0_TA0.4	Senaryo-25					0.4	81.25	12.50	808.00
S-26_kut_U15_G6.9_H1.0_TA0.8	Senaryo-26	Küt Baş	15	6.9	1	0.8	81.25	12.50	606.00
S-27_kut_U15_G6.9_H1.0_TA1.0	Senaryo-27					1.0	81.25	12.50	404.00
S-28_kut_U15_G6.9_H1.0_TA1.2	Senaryo-28					1.2	81.25	12.50	303.00
S-29_kut_U15_G6.9_H0.5_TA0.4	Senaryo-29					0.4	153.13	6.25	808.00
S-30_kut_U15_G6.9_H0.5_TA0.8	Senaryo-30	Küt Baş	15	6.9	0.5	0.8	153.13	6.25	606.00
S-31_kut_U15_G6.9_H0.5_TA1.0	Senaryo-31					1.0	153.13	6.25	404.00
S-32_kut_U15_G6.9_H0.5_TA1.2	Senaryo-32					1.2	153.13	6.25	303.00
S-33_kut_U17.25_G6_H2.0_TA0.4	Senaryo-33					0.4	50.00	25.00	808.00
S-34_kut_U17.25_G6_H2.0_TA0.8	Senaryo-34	Küt Baş	17.25	6	2	0.8	50.00	25.00	606.00
S-35_kut_U17.25_G6_H2.0_TA1.0	Senaryo-35					1.0	50.00	25.00	404.00
S-36_kut_U17.25_G6_H2.0_TA1.2	Senaryo-36					1.2	50.00	25.00	303.00
S-37_kut_U17.25_G6_H1.5_TA0.4	Senaryo-37					0.4	59.38	18.75	808.00
S-38_kut_U17.25_G6_H1.5_TA0.8	Senaryo-38	Küt Baş	17.25	6	1.5	0.8	59.38	18.75	606.00
S-39_kut_U17.25_G6_H1.5_TA1.0	Senaryo-39					1.0	59.38	18.75	404.00
S-40_kut_U17.25_G6_H1.5_TA1.2	Senaryo-40					1.2	59.38	18.75	303.00
S-41_kut_U17.25_G6_H1.0_TA0.4	Senaryo-41					0.4	81.25	12.50	808.00
S-42_kut_U17.25_G6_H1.0_TA0.8	Senaryo-42	Küt Baş	17.25	6	1	0.8	81.25	12.50	606.00
S-43_kut_U17.25_G6_H1.0_TA1.0	Senaryo-43					1.0	81.25	12.50	404.00
S-44_kut_U17.25_G6_H1.0_TA1.2	Senaryo-44					1.2	81.25	12.50	303.00
S-45_kut_U17.25_G6_H0.5_TA0.4	Senaryo-45					0.4	153.13	6.25	808.00
S-46_kut_U17.25_G6_H0.5_TA0.8	Senaryo-46	Küt Baş	17.25	6	0.5	0.8	153.13	6.25	606.00
S-47_kut_U17.25_G6_H0.5_TA1.0	Senaryo-47					1.0	153.13	6.25	404.00
S-48_kut_U17.25_G6_H0.5_TA1.2	Senaryo-48					1.2	153.13	6.25	303.00

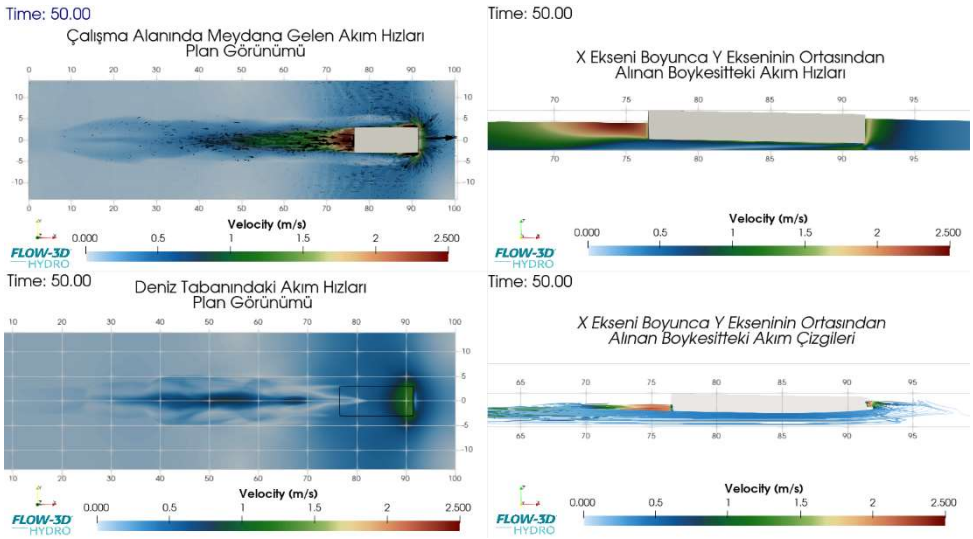
Tablo 4.5: Sayısal model senaryoları, 49-96 numaralı senaryolar.

Senaryo Tam Ad	Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Yüzer Cismin Uzunluğu (m)	Yüzer Cismin Genişliği (m)	Yüzer Cismin Çekilme Hızı (m/s)	Yüzer Cismin Tabanının Deniz Tabanına Olan Mesafesi (Temiz Açıklık) (m)	Model Süresi	İvmelenme Süresi (s)	Yüzer Cismin Yoğunluğu (kg/m^3)
S-49_egimli_U15_G6_H2.0_TA0.4	Senaryo-49					0.4	50.00	25.00	787.66
S-50_egimli_U15_G6_H2.0_TA0.8	Senaryo-50	Eğimli Baş	15	6	2	0.8	50.00	25.00	569.38
S-51_egimli_U15_G6_H2.0_TA1.0	Senaryo-51					1.0	50.00	25.00	465.44
S-52_egimli_U15_G6_H2.0_TA1.2	Senaryo-52					1.2	50.00	25.00	365.12
S-53_egimli_U15_G6_H1.5_TA0.4	Senaryo-53					0.4	59.38	18.75	787.66
S-54_egimli_U15_G6_H1.5_TA0.8	Senaryo-54	Eğimli Baş	15	6	1.5	0.8	59.38	18.75	569.38
S-55_egimli_U15_G6_H1.5_TA1.0	Senaryo-55					1.0	59.38	18.75	465.44
S-56_egimli_U15_G6_H1.5_TA1.2	Senaryo-56					1.2	59.38	18.75	365.12
S-57_egimli_U15_G6_H1.0_TA0.4	Senaryo-57					0.4	81.25	12.50	787.66
S-58_egimli_U15_G6_H1.0_TA0.8	Senaryo-58	Eğimli Baş	15	6	1	0.8	81.25	12.50	569.38
S-59_egimli_U15_G6_H1.0_TA1.0	Senaryo-59					1.0	81.25	12.50	465.44
S-60_egimli_U15_G6_H1.0_TA1.2	Senaryo-60					1.2	81.25	12.50	365.12
S-61_egimli_U15_G6_H0.5_TA0.4	Senaryo-61					0.4	153.13	6.25	787.66
S-62_egimli_U15_G6_H0.5_TA0.8	Senaryo-62	Eğimli Baş	15	6	0.5	0.8	153.13	6.25	569.38
S-63_egimli_U15_G6_H0.5_TA1.0	Senaryo-63					1.0	153.13	6.25	465.44
S-64_egimli_U15_G6_H0.5_TA1.2	Senaryo-64					1.2	153.13	6.25	365.12
S-65_egimli_U15_G6.9_H2.0_TA0.4	Senaryo-65					0.4	50.00	25.00	787.66
S-66_egimli_U15_G6.9_H2.0_TA0.8	Senaryo-66	Eğimli Baş	15	6.9	2	0.8	50.00	25.00	569.38
S-67_egimli_U15_G6.9_H2.0_TA1.0	Senaryo-67					1.0	50.00	25.00	465.44
S-68_egimli_U15_G6.9_H2.0_TA1.2	Senaryo-68					1.2	50.00	25.00	365.12
S-69_egimli_U15_G6.9_H1.5_TA0.4	Senaryo-69					0.4	59.38	18.75	787.66
S-70_egimli_U15_G6.9_H1.5_TA0.8	Senaryo-70	Eğimli Baş	15	6.9	1.5	0.8	59.38	18.75	569.38
S-71_egimli_U15_G6.9_H1.5_TA1.0	Senaryo-71					1.0	59.38	18.75	465.44
S-72_egimli_U15_G6.9_H1.5_TA1.2	Senaryo-72					1.2	59.38	18.75	365.12
S-73_egimli_U15_G6.9_H1.0_TA0.4	Senaryo-73					0.4	81.25	12.50	787.66
S-74_egimli_U15_G6.9_H1.0_TA0.8	Senaryo-74	Eğimli Baş	15	6.9	1	0.8	81.25	12.50	569.38
S-75_egimli_U15_G6.9_H1.0_TA1.0	Senaryo-75					1.0	81.25	12.50	465.44
S-76_egimli_U15_G6.9_H1.0_TA1.2	Senaryo-76					1.2	81.25	12.50	365.12
S-77_egimli_U15_G6.9_H0.5_TA0.4	Senaryo-77					0.4	153.13	6.25	787.66
S-78_egimli_U15_G6.9_H0.5_TA0.8	Senaryo-78	Eğimli Baş	15	6.9	0.5	0.8	153.13	6.25	569.38
S-79_egimli_U15_G6.9_H0.5_TA1.0	Senaryo-79					1.0	153.13	6.25	465.44
S-80_egimli_U15_G6.9_H0.5_TA1.2	Senaryo-80					1.2	153.13	6.25	365.12
S-81_egimli_U17.25_G6_H2.0_TA0.4	Senaryo-81					0.4	50.00	25.00	787.66
S-82_egimli_U17.25_G6_H2.0_TA0.8	Senaryo-82	Eğimli Baş	17.25	5	2	0.8	50.00	25.00	569.38
S-83_egimli_U17.25_G6_H2.0_TA1.0	Senaryo-83					1.0	50.00	25.00	465.44
S-84_egimli_U17.25_G6_H2.0_TA1.2	Senaryo-84					1.2	50.00	25.00	365.12
S-85_egimli_U17.25_G6_H1.5_TA0.4	Senaryo-85					0.4	59.38	18.75	787.66
S-86_egimli_U17.25_G6_H1.5_TA0.8	Senaryo-86	Eğimli Baş	17.25	5	1.5	0.8	59.38	18.75	569.38
S-87_egimli_U17.25_G6_H1.5_TA1.0	Senaryo-87					1.0	59.38	18.75	465.44
S-88_egimli_U17.25_G6_H1.5_TA1.2	Senaryo-88					1.2	59.38	18.75	365.12
S-89_egimli_U17.25_G6_H1.0_TA0.4	Senaryo-89					0.4	81.25	12.50	787.66
S-90_egimli_U17.25_G6_H1.0_TA0.8	Senaryo-90	Eğimli Baş	17.25	5	1	0.8	81.25	12.50	569.38
S-91_egimli_U17.25_G6_H1.0_TA1.0	Senaryo-91					1.0	81.25	12.50	465.44
S-92_egimli_U17.25_G6_H1.0_TA1.2	Senaryo-92					1.2	81.25	12.50	365.12
S-93_egimli_U17.25_G6_H0.5_TA0.4	Senaryo-93					0.4	153.13	6.25	787.66
S-94_egimli_U17.25_G6_H0.5_TA0.8	Senaryo-94	Eğimli Baş	17.25	5	0.5	0.8	153.13	6.25	569.38
S-95_egimli_U17.25_G6_H0.5_TA1.0	Senaryo-95					1.0	153.13	6.25	465.44
S-96_egimli_U17.25_G6_H0.5_TA1.2	Senaryo-96					1.2	153.13	6.25	365.12

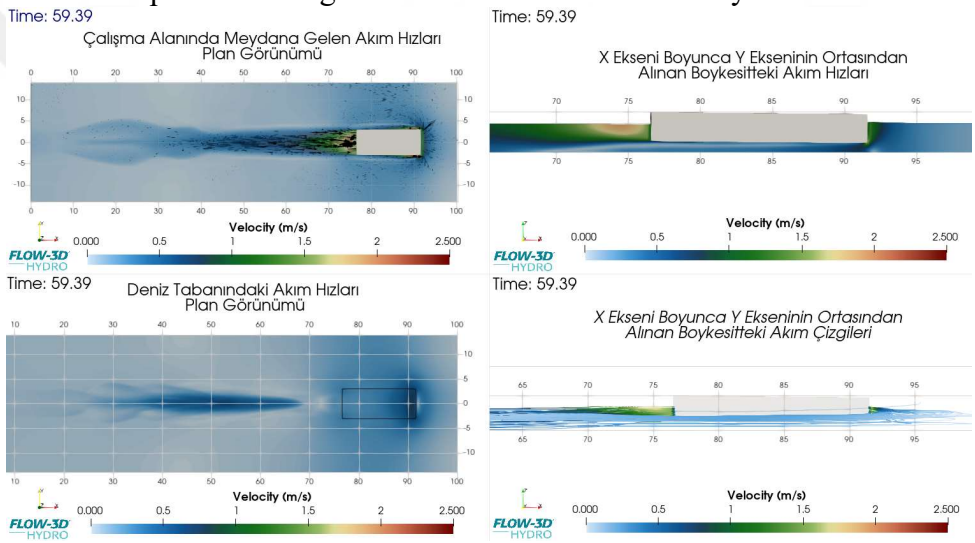
4.3 Sayısal Model Sonuçları

Yüzer cismin geometrisi, hızı, deniz tabanına olan mesafesi ve deniz tabanında yer alan katı maddenin özelliklerine bağlı olarak, yüzer cismin meydana getirdiği hidrodinamik etkiler ve yüzer cisim kaynaklı askıya kalkan katı madde konsantrasyonunun belirlenmesi amacıyla Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'de ayrıntıları gösterilen sayısal model çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen model sonuçları bu bölümde ayrıntılı olarak sunulmuştur.

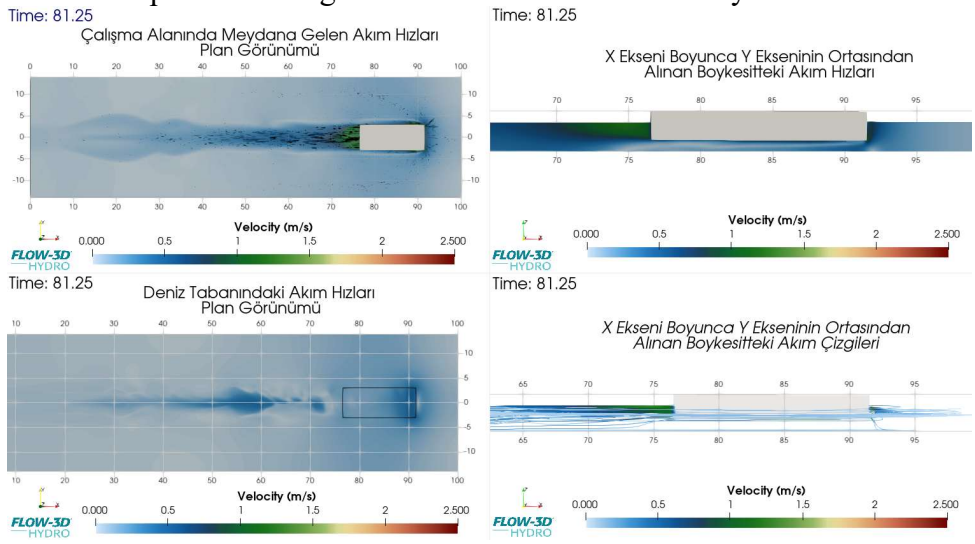
Her bir senaryo sonunda çalışma alanında meydana gelen hidrodinamik etkileri incelemek amacıyla plan ve kesit görünümlerinde akım hızları örnek senaryolar için Şekil 4.19~Şekil 4.42'de gösterilmektedir. Burada Şekil 4.19~Şekil 4.30'da küt baş yapısına sahip yüzer cisim için, Şekil 4.31~Şekil 4.42'de ise eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim için model sonuçları sunulmaktadır.



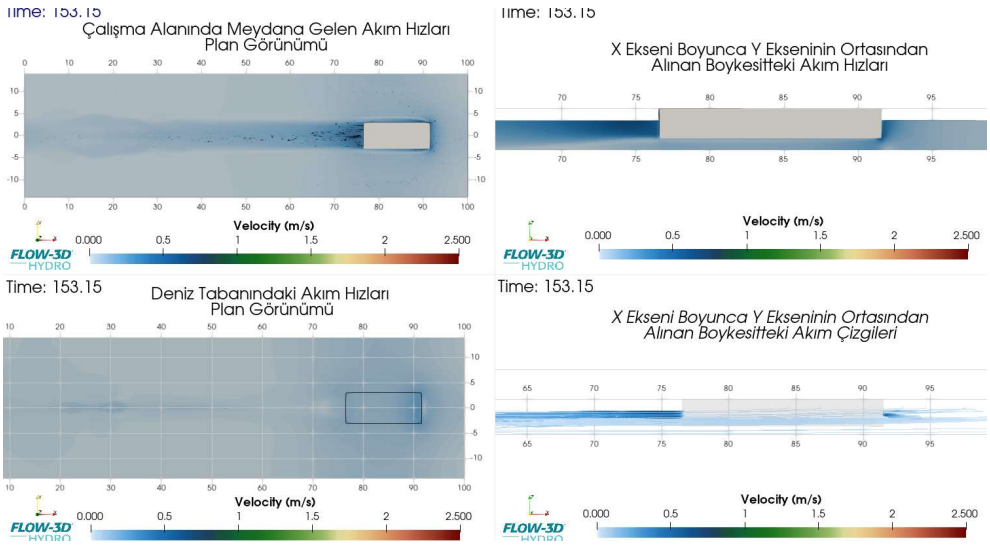
Şekil 4.19: Senaryo-2 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



Şekil 4.20: Senaryo-6 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

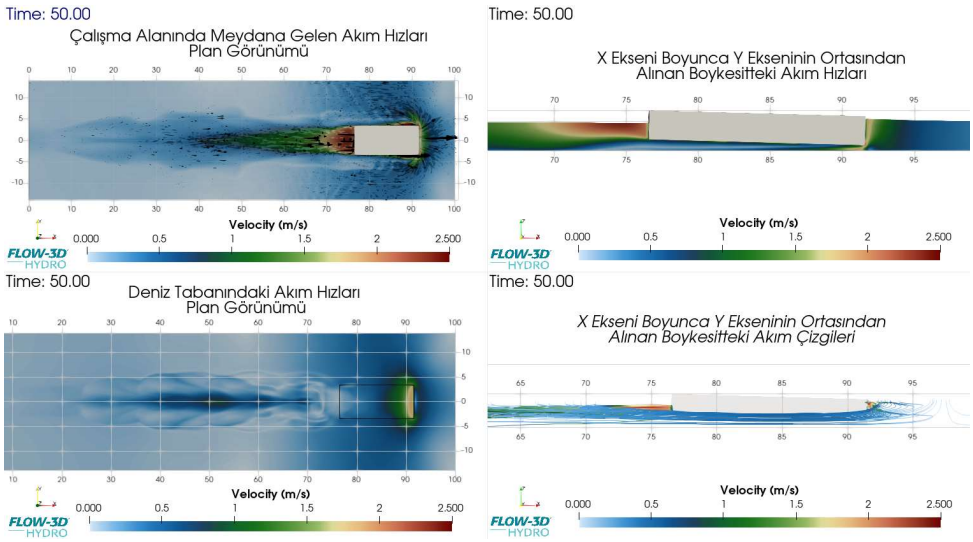


Şekil 4.21: Senaryo-10 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

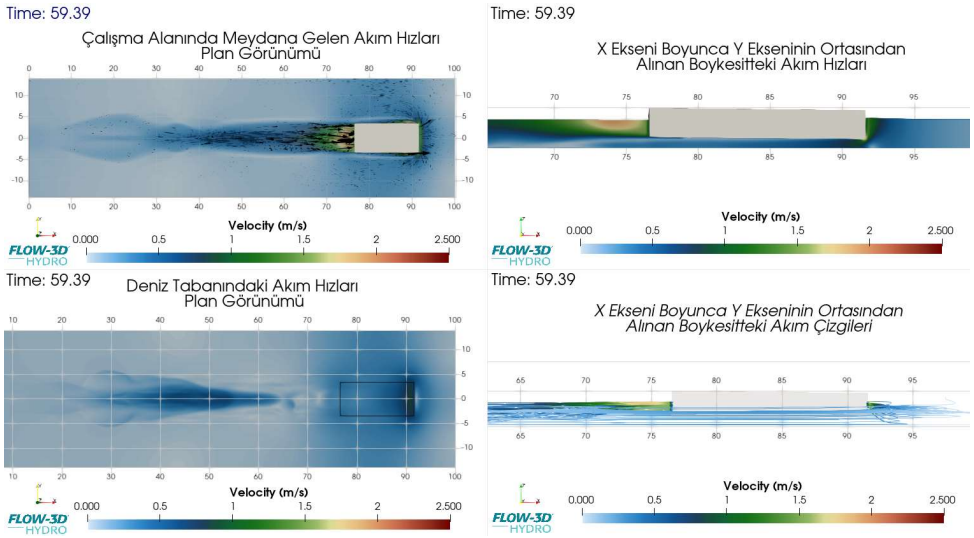


Şekil 4.22: Senaryo-14 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

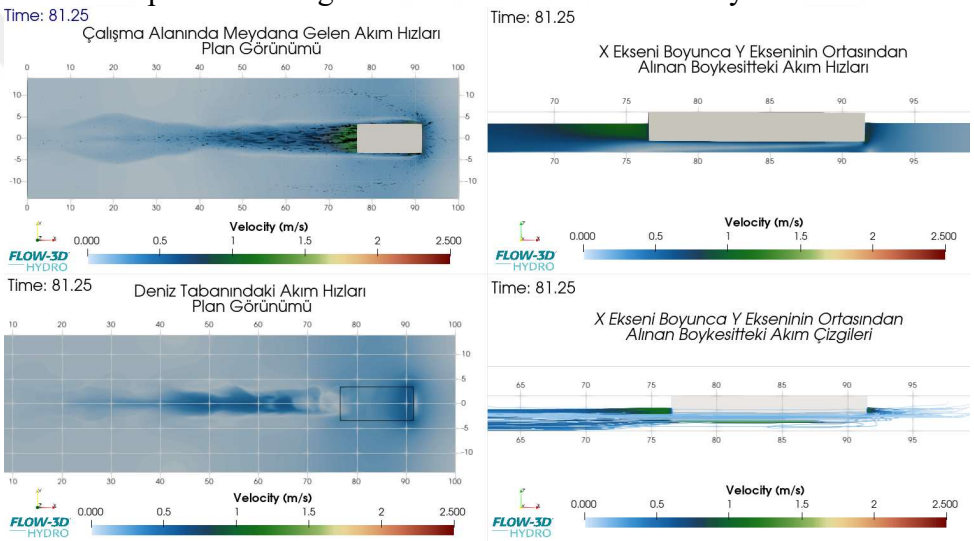
Şekil 4.19~Şekil 4.22 arasında verilen model çıktılarında, modelleme zamanı sonunda temiz açıklık değeri 0,80 m olan küt baş yapısına sahip yüzer bir cismin farklı hızlarda çekilmesi ile meydana gelen akım hızları ve yönleri gösterilmiştir. Buna göre yüzer cismin hızının en yüksek olduğu 2 m/s çekilme hızında çökme (squat) etkisinin en yüksek olduğu ve yüzer cismin deniz tabanına en fazla yaklaştığı görülmüş, çekilme hızının düştükçe çökme etkisinin de o denli azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca çökme etkisine bağlı olarak yüzer cismin altında meydana gelen en yüksek akım hızının baş kısmının altında olduğu ve akım hızlarının baş kısmından kıç kısmına doğru ilerledikçe düştüğü tespit edilmiştir.



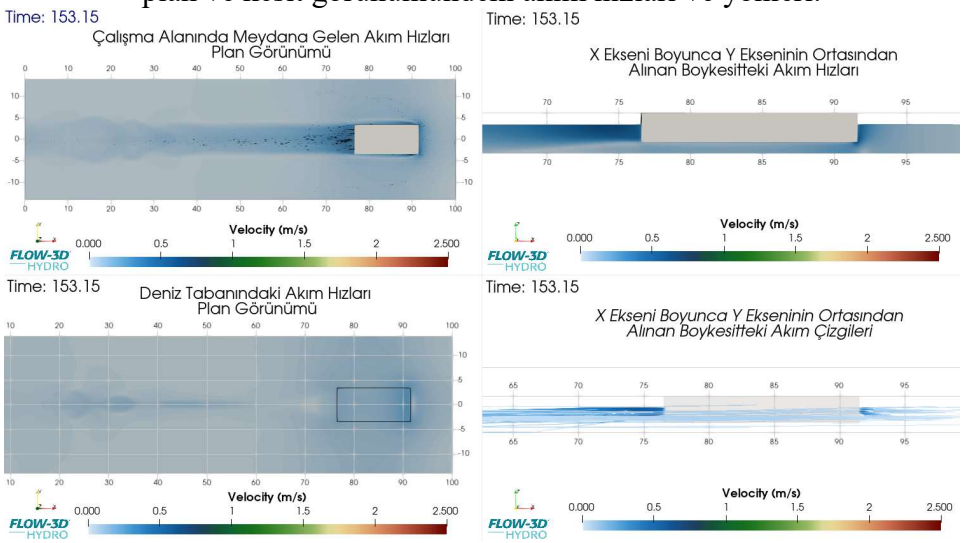
Şekil 4.23: Senaryo-18 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



Şekil 4.24: Senaryo-22 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

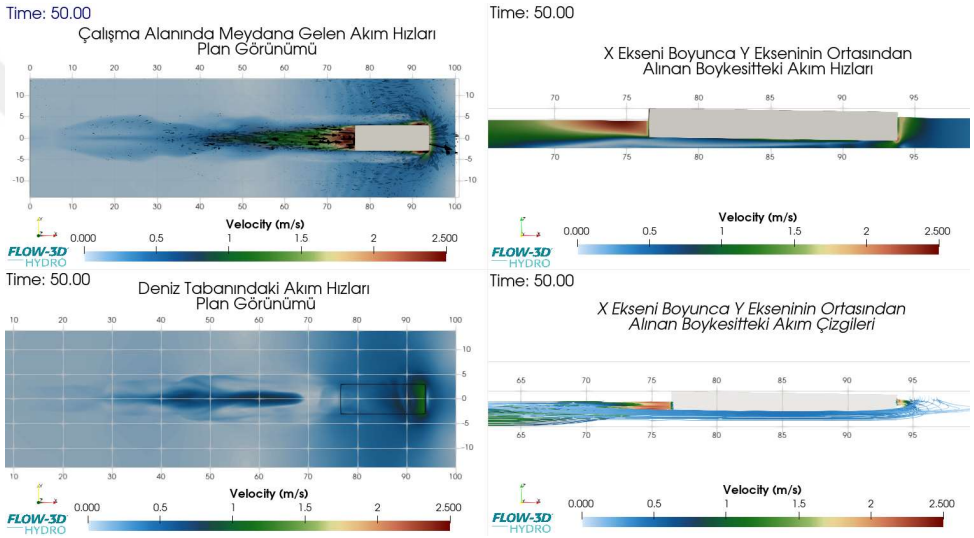


Şekil 4.25: Senaryo-26 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

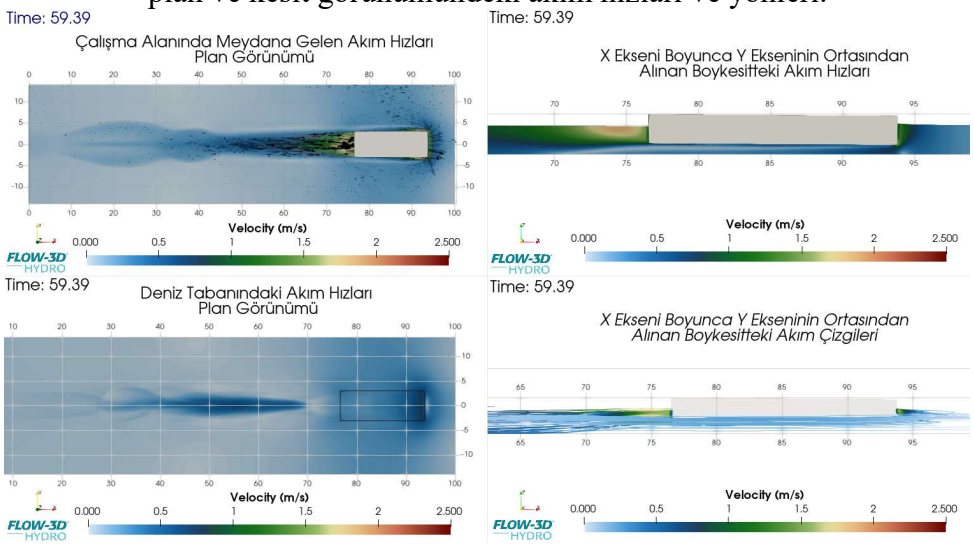


Şekil 4.26: Senaryo-30 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

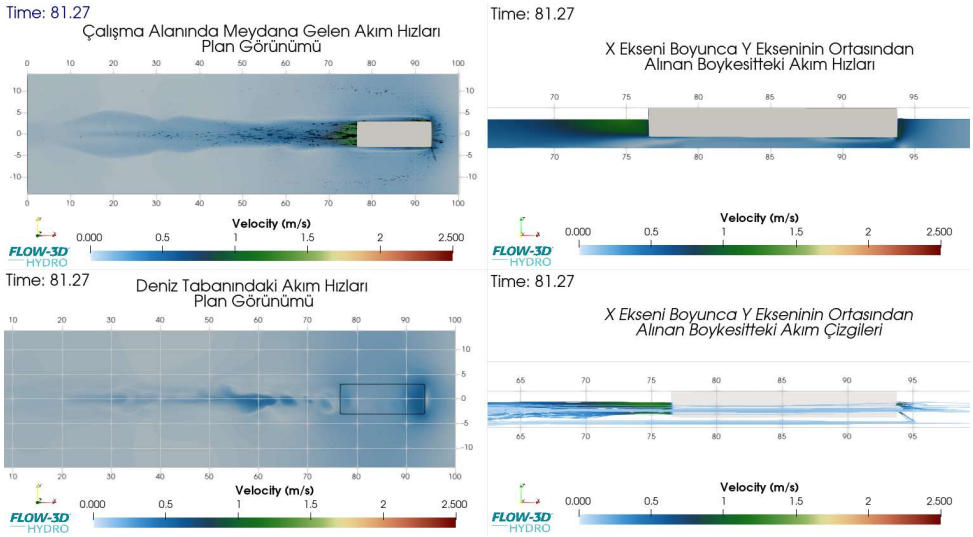
Şekil 4.23~Şekil 4.26 arasında verilen model çıktılarında, modelleme zamanı sonunda temiz açıklık değeri 0,80 m olan küt baş yapısına sahip yüzer bir cismin genişliğinin arttırılması durumunda farklı hızlarda çekilmesi ile meydana gelen akım hızları ve yönleri gösterilmiştir. Şekil 4.19~Şekil 4.22 arasında sunulan model çıktıları ile yüzer cismin genişliğinin arttırıldığı Şekil 4.23~Şekil 4.26 arasında sunulan model çıktıları karşılaştırıldığında, tüm alanda meydana gelen akım hızlarında artış meydana geldiği, yüzer cisim altında meydana gelen akım hızlarının ise çekilme hızının en yüksek olduğu senaryolarda yaklaşık olarak %50 arttığı, çekilme hızı düştükçe akım hızlarındaki artış oranının azaldığı gözlemlenmektedir.



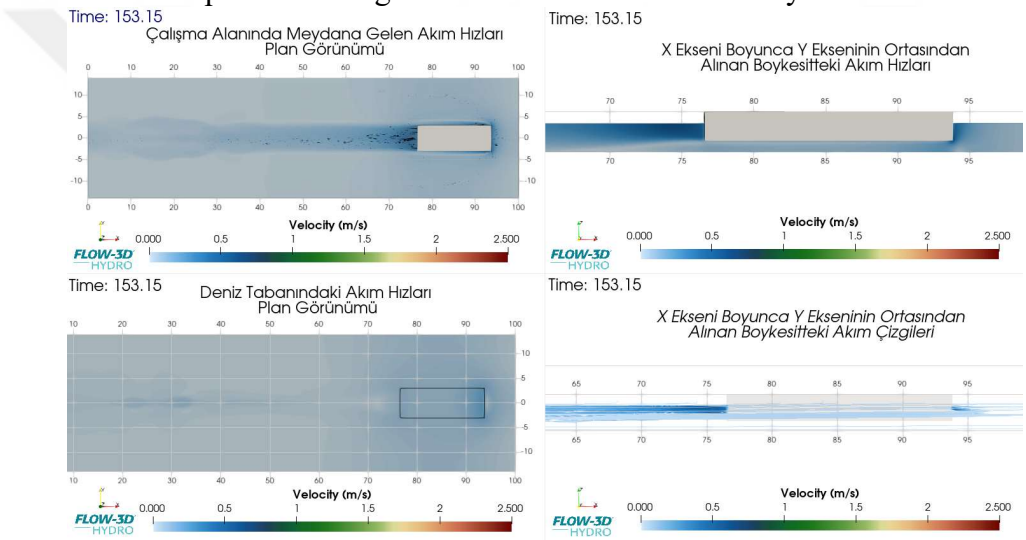
Şekil 4.27: Senaryo-34 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



Şekil 4.28: Senaryo-38 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

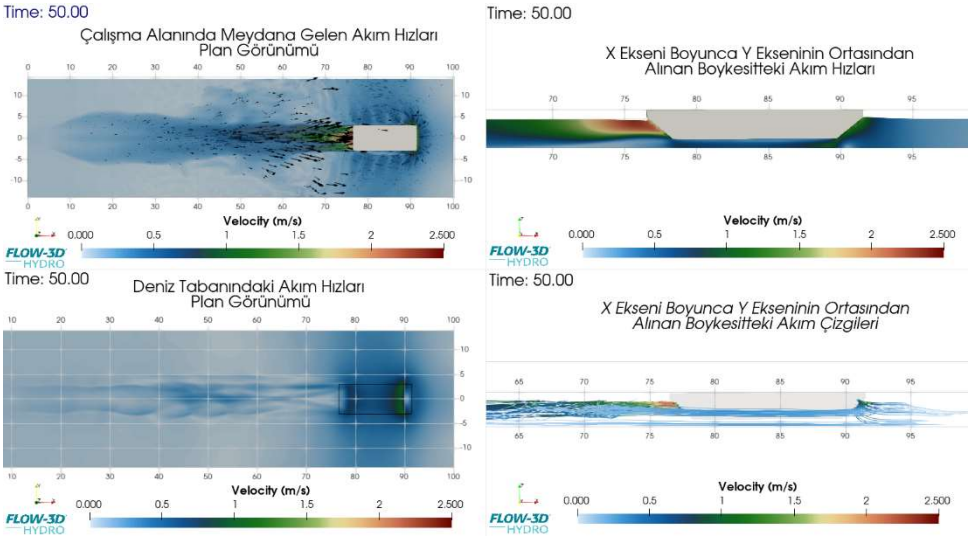


Şekil 4.29: Senaryo-42 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

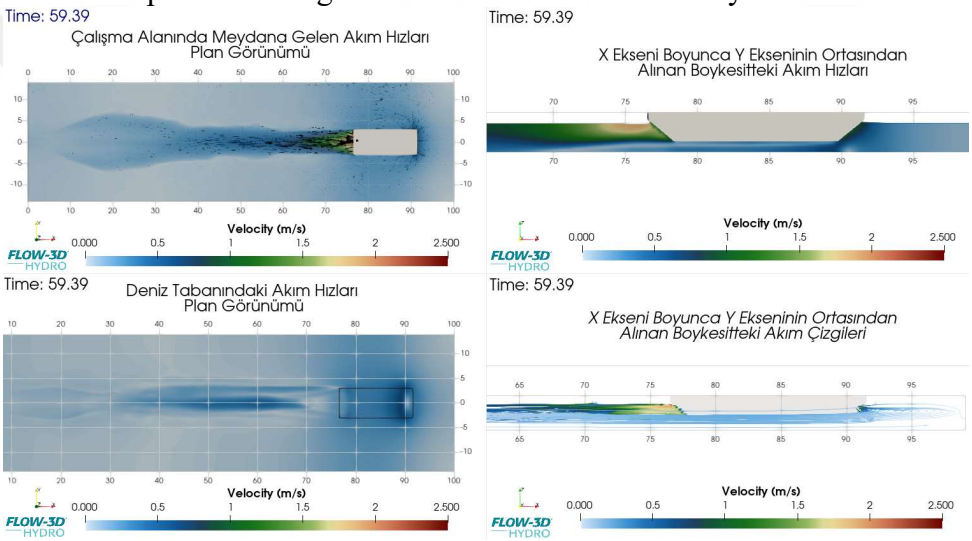


Şekil 4.30: Senaryo-46 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

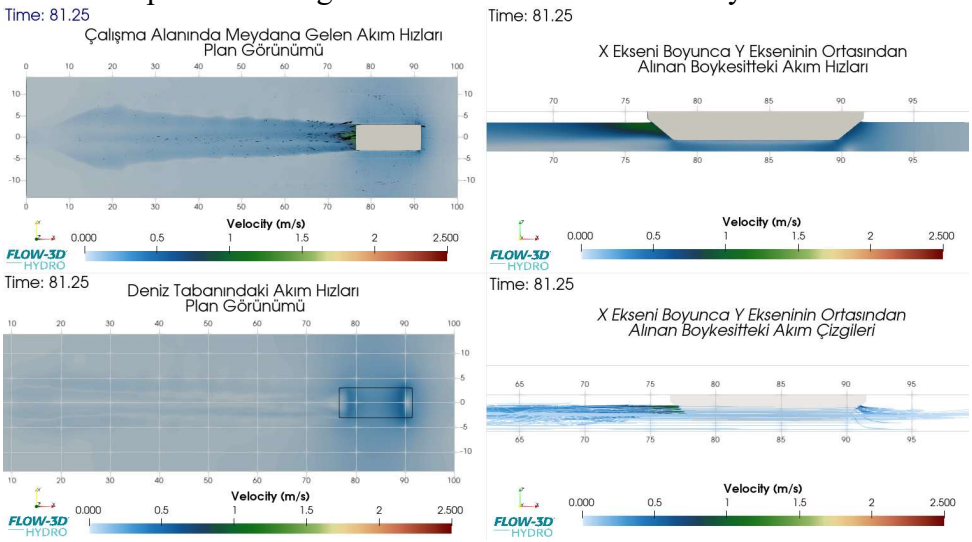
Şekil 4.27~Şekil 4.30 arasında verilen model çıktılarında, modelleme zamanı sonunda temiz açıklık değeri 0,80 m olan küt baş yapısına sahip yüzer bir cismin uzunluğunun arttırılması durumunda farklı hızlarda çekilmesi ile meydana gelen akım hızları ve yönleri gösterilmiştir. Şekil 4.19~Şekil 4.22 arasında sunulan model çıktıları ile yüzer cismin uzunluğunun arttırıldığı Şekil 4.27~Şekil 4.30 arasında sunulan model çıktıları karşılaştırıldığında, akım hızları ve yönler açısından çok küçük farklılıkların meydana geldiği, akım hızlarının hemen hemen tüm alanda benzer büyüklükler gösterdiği, sadece yüzer cismin baş kısmından kıç kısmına doğru gidildikçe yüzer cisim altındaki akım hızlarının yüzer cisim uzunluğunun artmadığı senaryolara oranla daha fazla düştüğü gözlemlenmektedir.



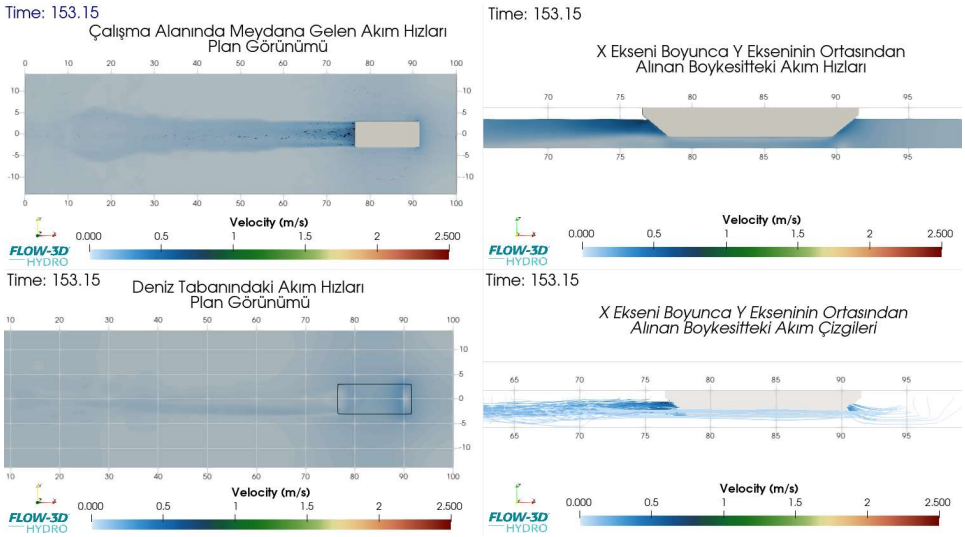
Şekil 4.31: Senaryo-50 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



Şekil 4.32: Senaryo-54 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

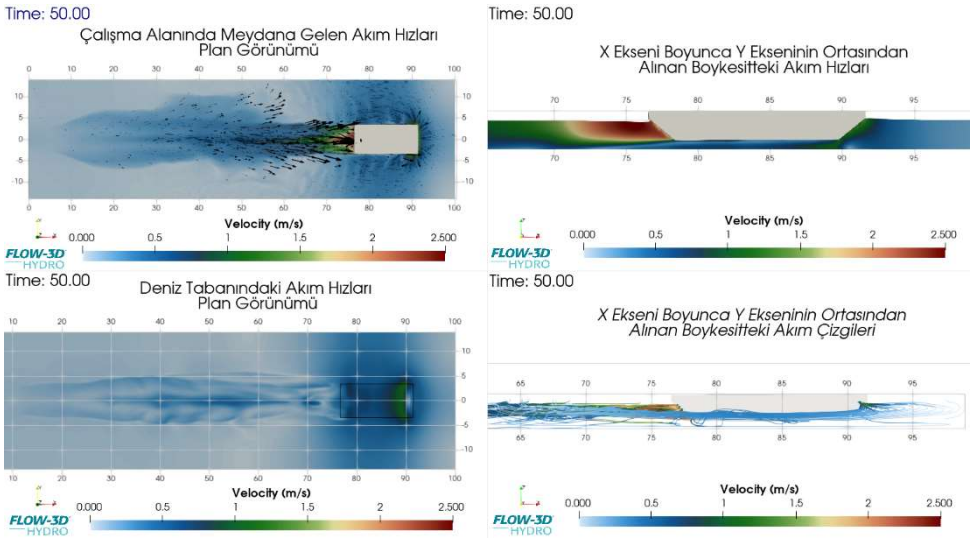


Şekil 4.33: Senaryo-58 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

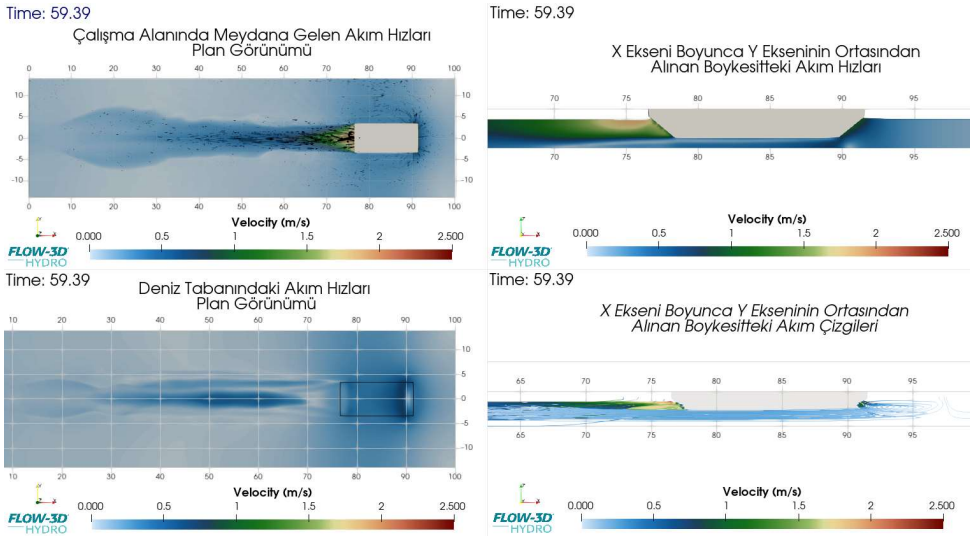


Şekil 4.34: Senaryo-62 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

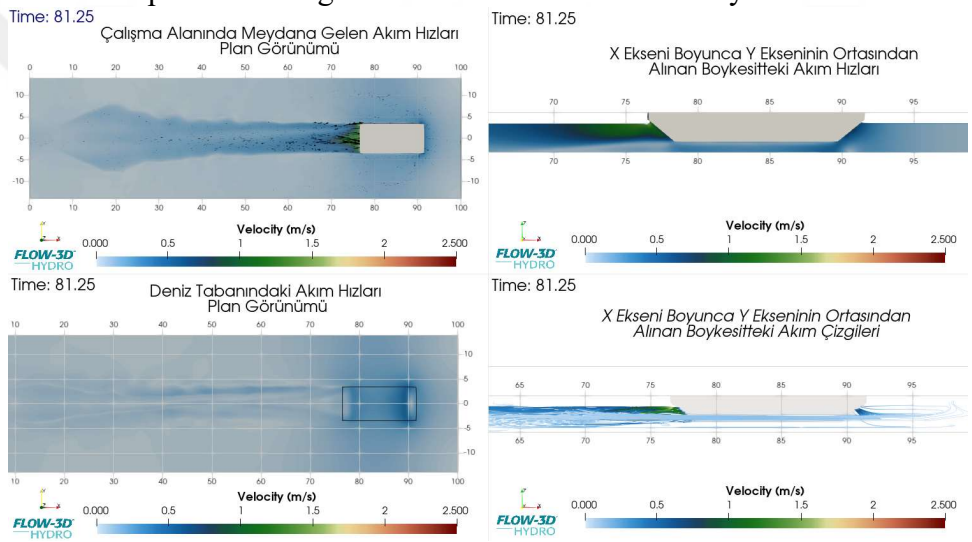
Şekil 4.31~Şekil 4.34 arasında verilen model çıktılarında, modelleme zamanı sonunda temiz açıklık değeri 0,80 m olan eğimli baş yapısına sahip yüzer bir cismin farklı hızlarda çekilmesi ile meydana gelen akım hızları ve yönleri gösterilmiştir. Buna göre yüzer cismin hızının en yüksek olduğu 2 m/s çekilme hızında çökme (squat) etkisinin en yüksek olduğu ve yüzer cismin deniz tabanına en fazla yaklaştığı görülmüş, çekilme hızının düştükçe çökme etkisinin de o denli azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca çökme etkisine bağlı olarak yüzer cismin altında meydana gelen en yüksek akım hızının baş kısmının altında olduğu ve akım hızlarının baş kısmından kıç kısmına doğru ilerledikçe düştüğü tespit edilmiştir.



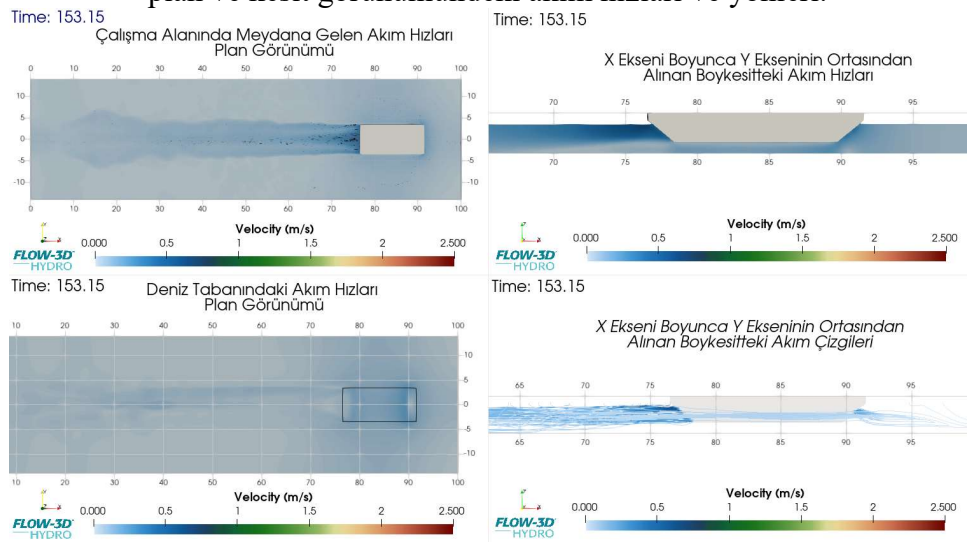
Şekil 4.35: Senaryo-66 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



Şekil 4.36: Senaryo-70 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

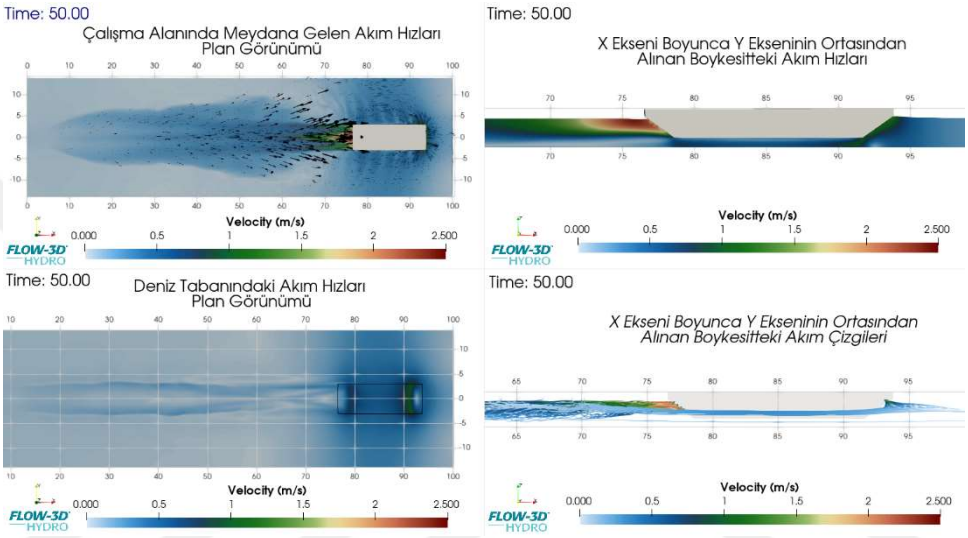


Şekil 4.37: Senaryo-74 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

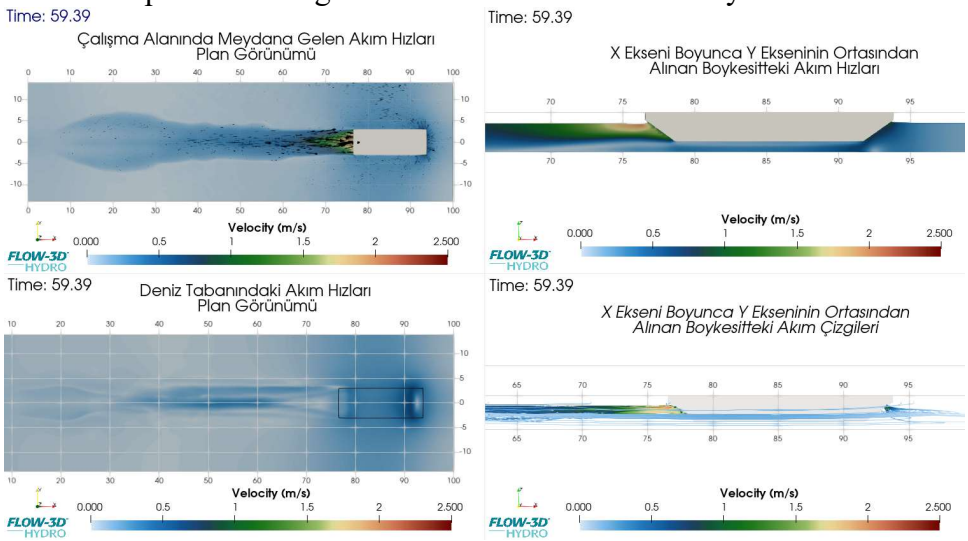


Şekil 4.38: Senaryo-78 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

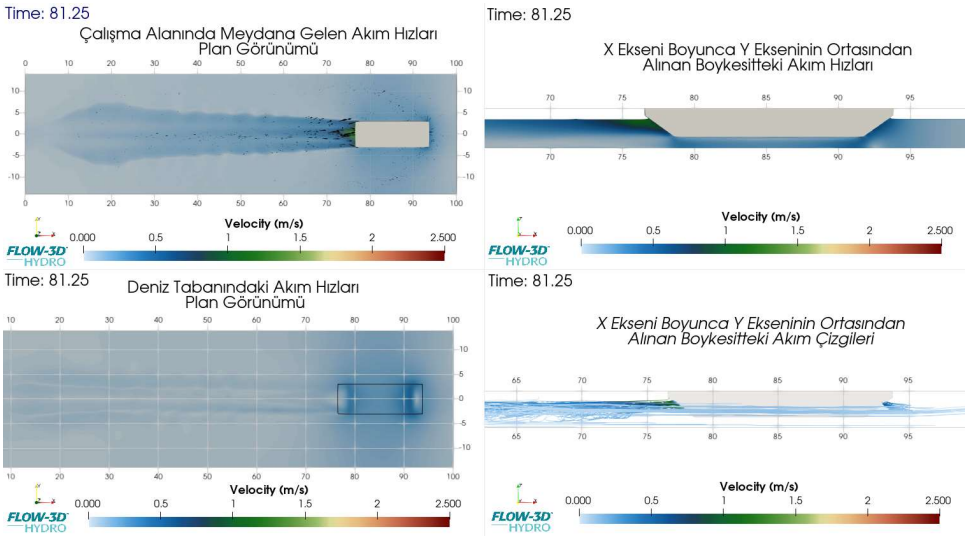
Şekil 4.35~Şekil 4.38 arasında verilen model çıktılarında, modelleme zamanı sonunda temiz açıklık değeri 0,80 m olan eğimli baş yapısına sahip yüzer bir cismin genişliğinin arttırılması durumunda farklı hızlarda çekilmesi ile meydana gelen akım hızları ve yönleri gösterilmiştir. Şekil 4.31~Şekil 4.34 arasında sunulan model çıktıları ile yüzer cismin genişliğinin arttırıldığı Şekil 4.35~Şekil 4.38 arasında sunulan model çıktıları karşılaştırıldığında, tüm alanda meydana gelen akım hızlarında artış meydana geldiği, yüzer cisim altında meydana gelen akım hızlarının ise daha fazla arttığı gözlemlenmektedir.



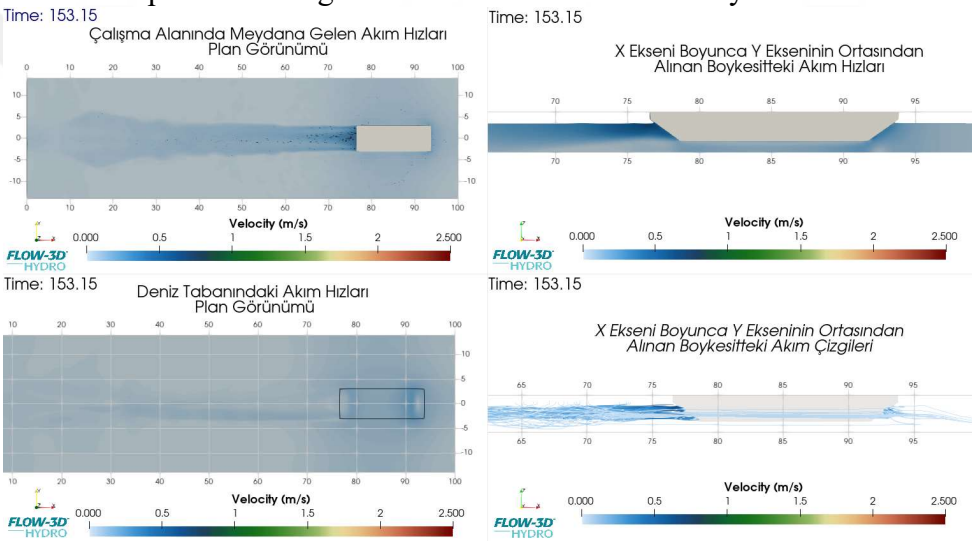
Şekil 4.39: Senaryo-82 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



Şekil 4.40: Senaryo-86 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



Şekil 4.41: Senaryo-90 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



Şekil 4.42: Senaryo-94 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

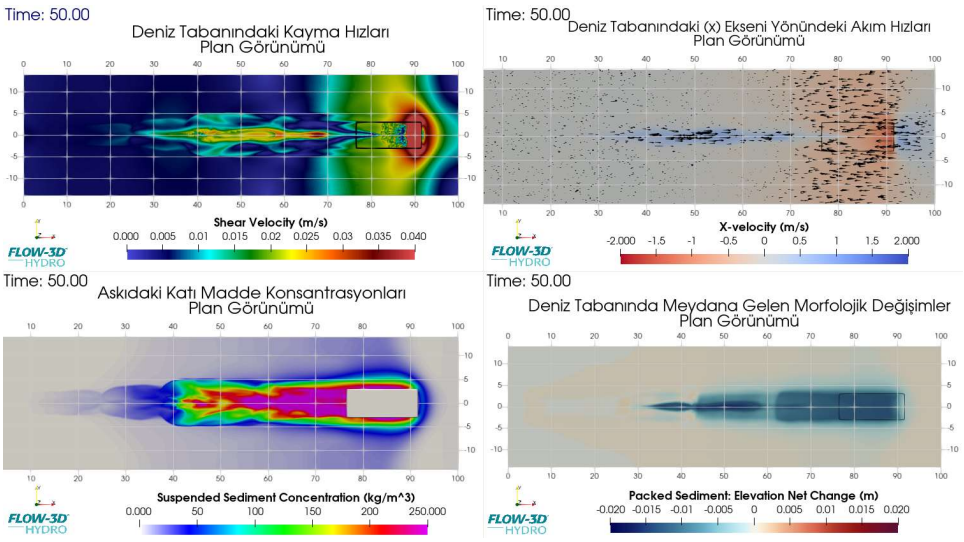
Şekil 4.39~Şekil 4.42 arasında verilen model çıktılarında, modelleme zamanı sonunda temiz açıklık değeri 0,80 m olan eğimli baş yapısına sahip yüzer bir cismin uzunluğunun arttırılması durumunda farklı hızlarda çekilmesi ile meydana gelen akım hızları ve yönleri gösterilmiştir. Şekil 4.31~Şekil 4.34 arasında sunulan model çıktıları ile yüzer cismin uzunluğunun arttırıldığı Şekil 4.39~Şekil 4.42 arasında sunulan model çıktıları karşılaştırıldığında, akım hızları ve yönler açısından çok küçük farklılıkların meydana geldiği, akım hızlarının hemen hemen tüm alanda benzer büyüklükler gösterdiği, sadece yüzer cismin baş kısmından kıç kısmına doğru gidildikçe yüzer cisim altındaki akım hızlarının yüzer cisim uzunluğunun artmadığı senaryolara oranla daha fazla düştüğü gözlemlenmektedir.

Baş yapısı küt olan yüzer cisme ait model sonuçlarından görüldüğü üzere, küt baş yapısından dolayı yüzer cismin önünde daha fazla miktarda suyun itildiği, bu bölgedeki su seviyesinin baş yapısı eğimli olan yüzer cisme oranla daha yüksek olduğu ve bu duruma bağlı olarak yüksek basıncın olduğu yüzer cismin baş kısmından, düşük basıncın olduğu yüzer cismin altına doğru yüksek miktarlarda suyun hareket ettiği ve akım hızlarının daha yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir.

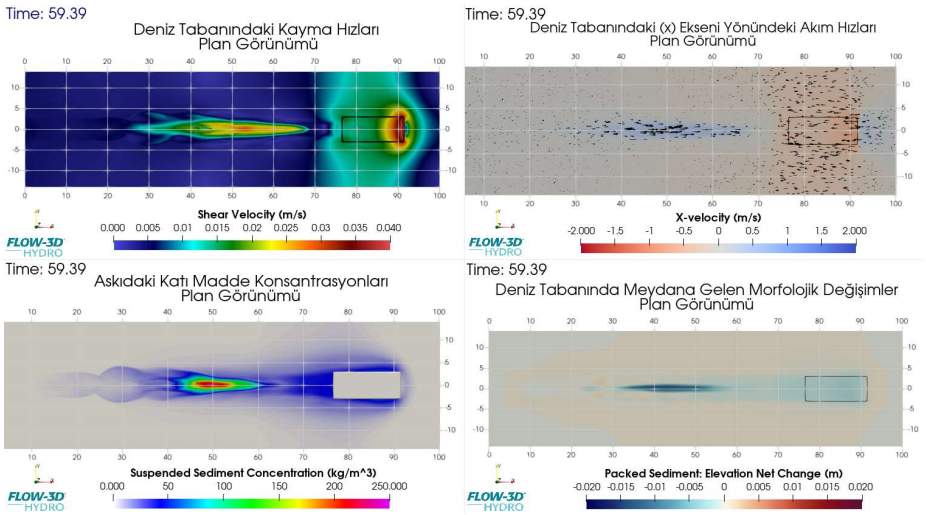
Yüzer cismin genişlemesi durumunda baş yapısından bağımsız olarak yüzer cismin önünde genişlememiş duruma nazaran daha fazla miktarda su itilmekte ve anlık olarak değerlendirildiğinde bu noktadaki potansiyel enerji genişletilmemiş duruma oranla daha yüksek olmaktadır. Bu duruma bağlı olarak yüzer cismin altında meydana gelen akım hızları da artmaktadır.

Yüzer cismin boyunun artması durumun da ise normal duruma göre görsel bazda çok büyük farklar meydana gelmemekle birlikte sayısal sonuçlar açısından bir miktar daha düşük akım hızlarının meydana geldiği gözlemlenmektedir.

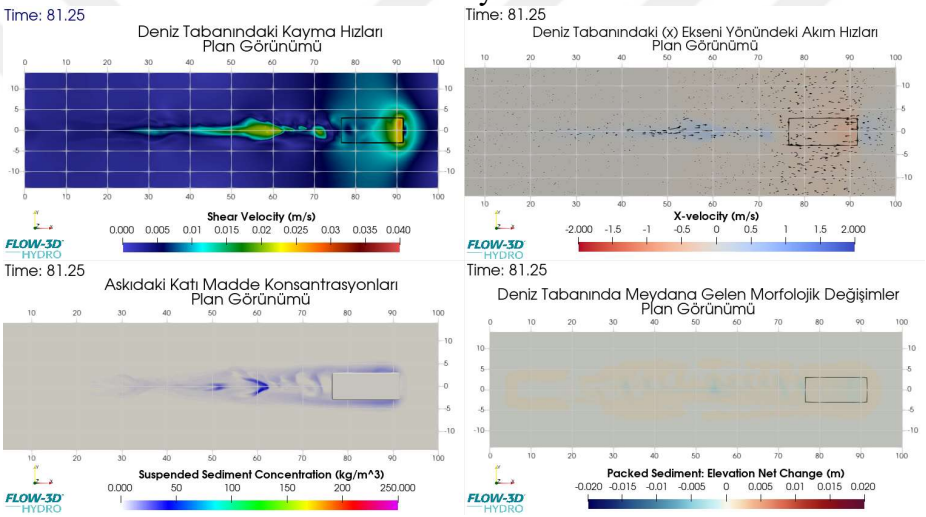
Her bir senaryo sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanında x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve tabanda meydana gelen kayma hızlarına ait sonuçlar sırasıyla Şekil 4.43~Şekil 4.66'da gösterilmektedir. Burada Şekil 4.43~Şekil 4.54'de küt baş yapısına sahip yüzer cisim için, Şekil 4.55~Şekil 4.66'da ise eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim için model sonuçları sunulmaktadır.



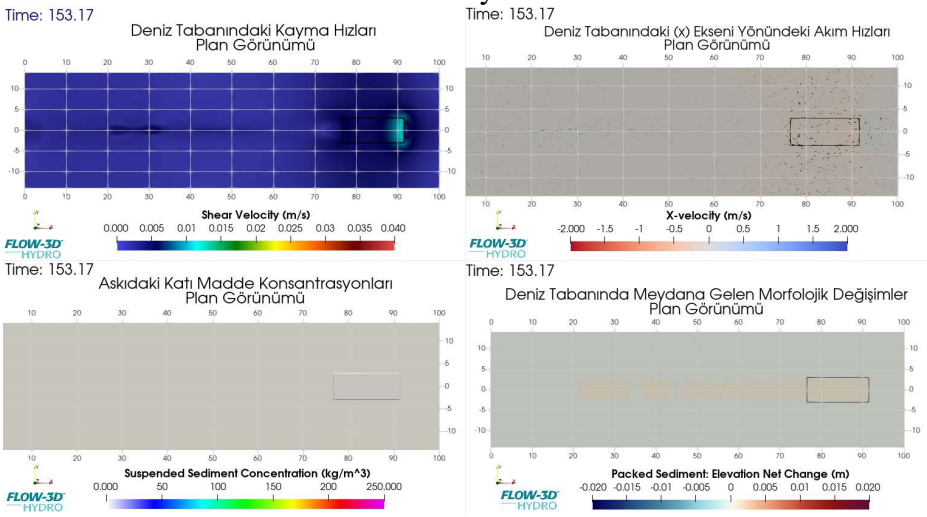
Şekil 4.43: Senaryo-2 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



Şekil 4.44: Senaryo-6 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.

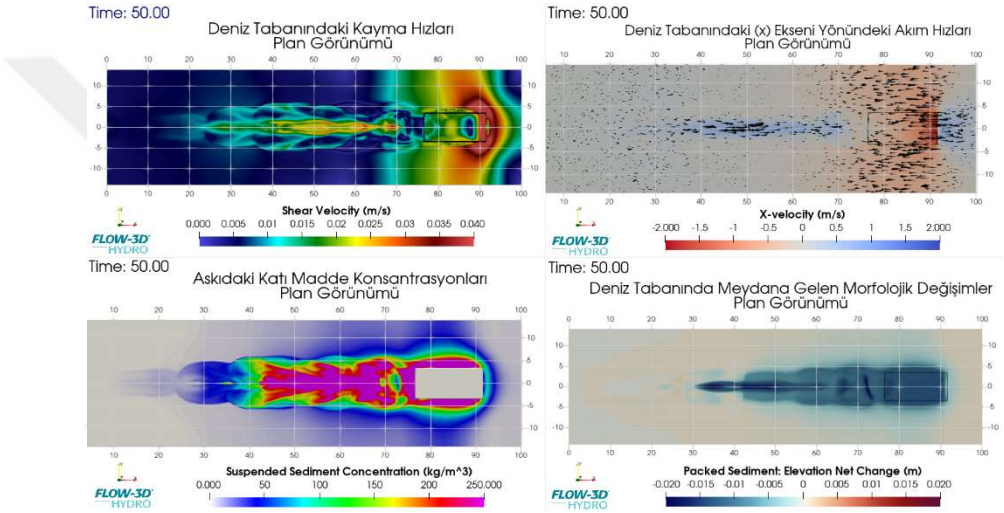


Şekil 4.45: Senaryo-10 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.

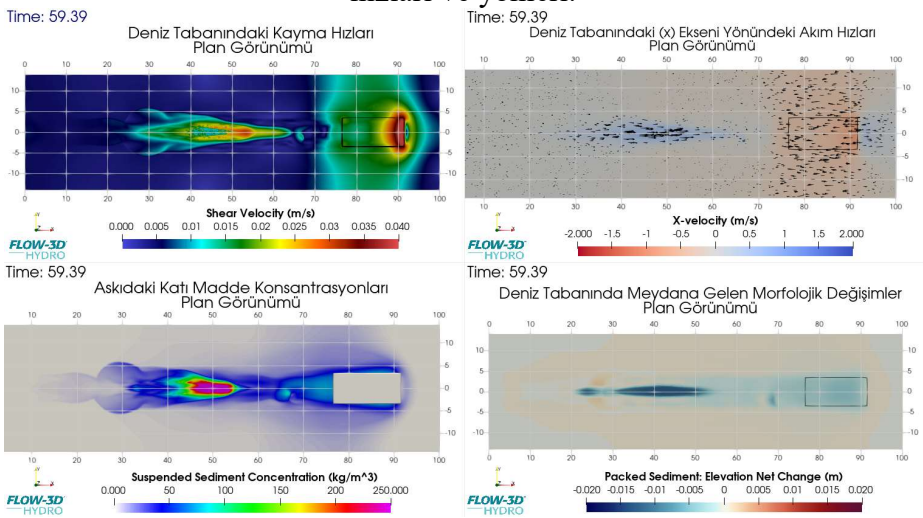


Şekil 4.46: Senaryo-14 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.

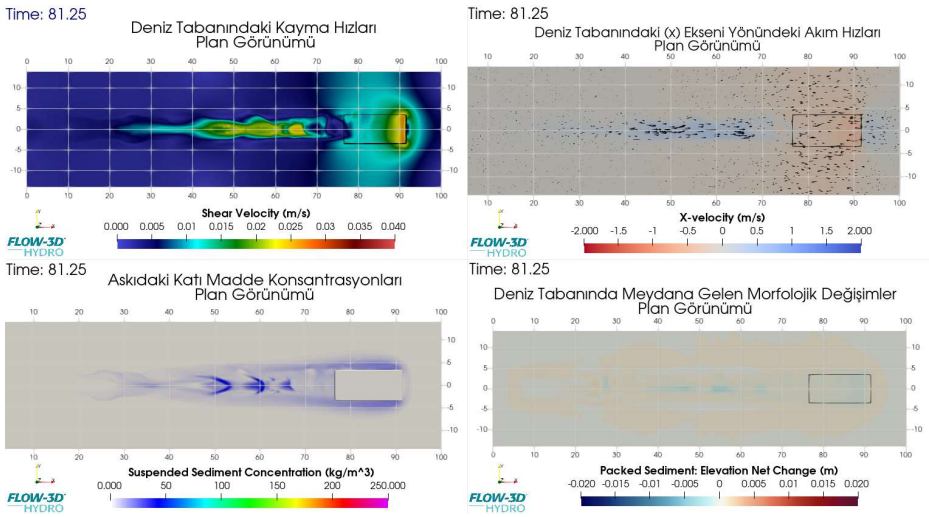
Şekil 4.43~Şekil 4.46 arasında verilen model çıktılarında, modelleme zamanı sonunda temiz açıklık değeri 0,80 m olan küt baş yapısına sahip yüzer bir cismin farklı hızlarda çekilmesi ile meydana gelen hidrodinamik ve morfolojik değerler sunulmaktadır. Buna göre, çekilme hızı değerinin en yüksek olduğu 2 m/s çekilme hızında tabanda meydana gelen kayma hızlarının yüzer cismin çekilme hızının yavaşladığı senaryolara oranla daha yüksek olduğu, özellikle en yüksek kayma hızlarının yüzer cismin baş kısmının altı ve çevresinde meydana geldiği gözlemlenmektedir. Bu duruma bağlı olarak tabandaki oyulmaların özellikle baş kısmının altında meydana geldiği ve askıya kalkan katı maddenin özellikle bu bölgede daha yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir.



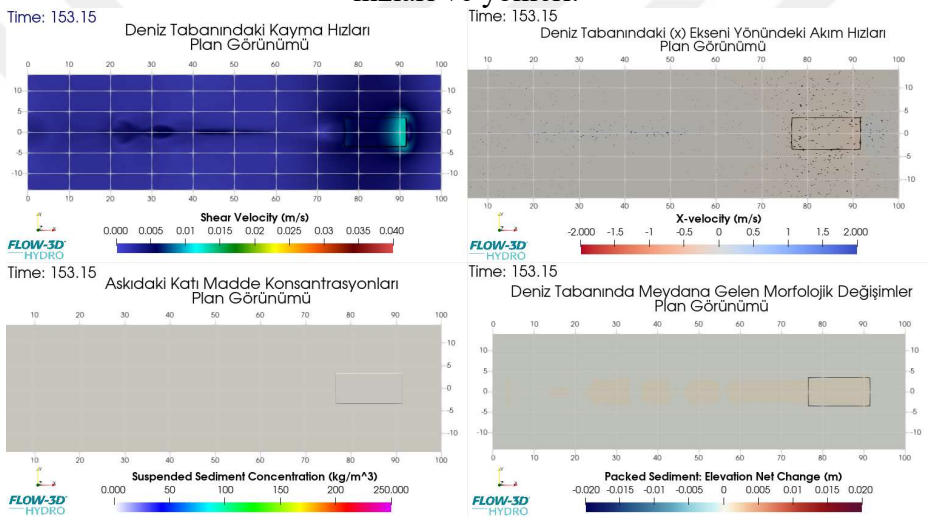
Şekil 4.47: Senaryo-18 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



Şekil 4.48: Senaryo-22 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.

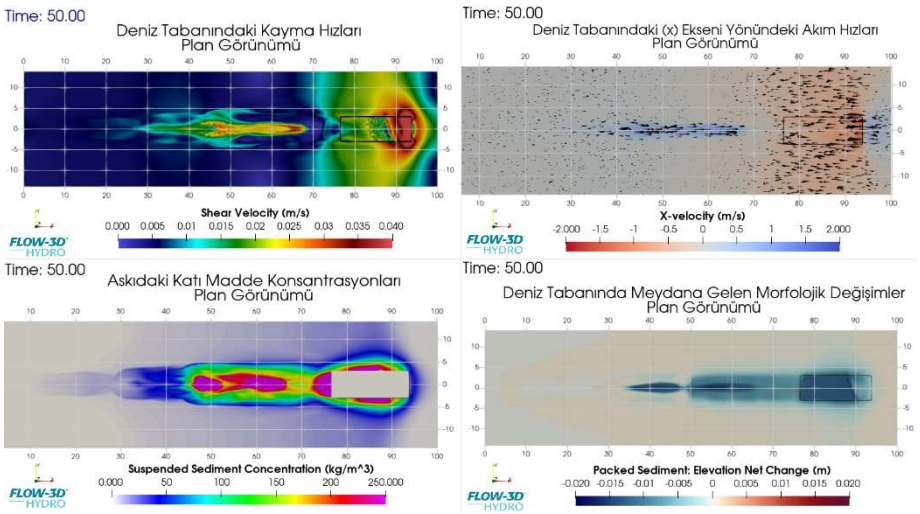


Şekil 4.49: Senaryo-26 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.

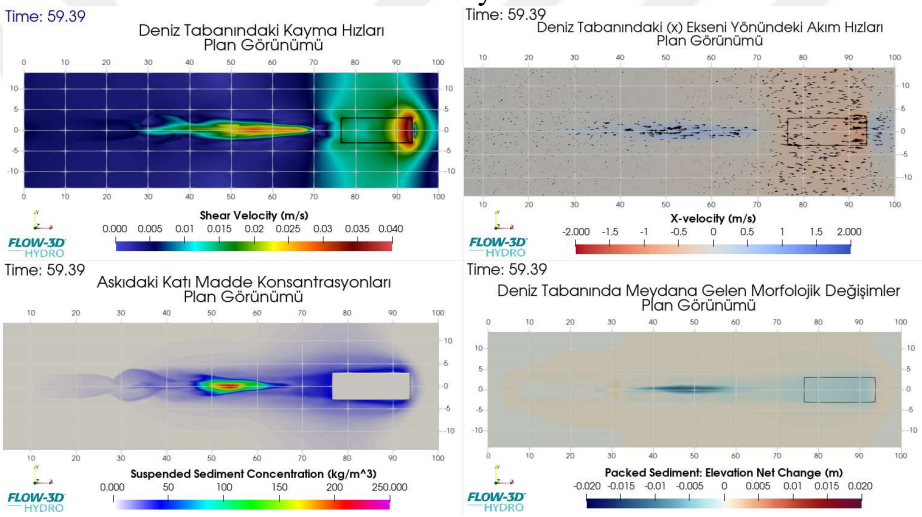


Şekil 4.50: Senaryo-30 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.

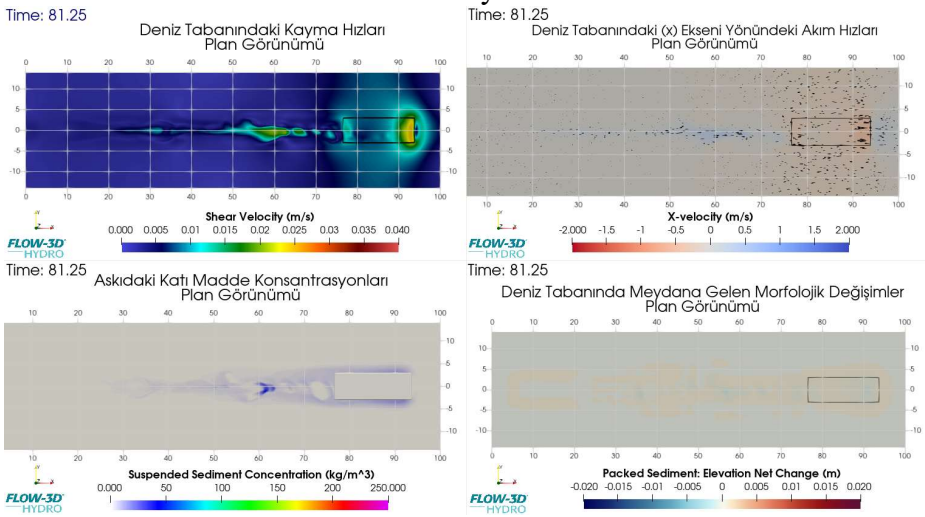
Şekil 4.47~Şekil 4.50 arasında verilen model çıktılarında, modelleme zamanı sonunda temiz açıklık değeri 0,80 m olan küt baş yapısına sahip yüzer bir cismin genişliğinin artması durumu ve farklı hızlarda çekilmesi ile meydana gelen hidrodinamik ve morfolojik değerler sunulmaktadır. Şekil 4.43~Şekil 4.46 arasında sunulan model çıktıları ile yüzer cismin genişliğinin arttırıldığı Şekil 4.47~Şekil 4.50 arasında sunulan model çıktıları karşılaştırıldığında, tabanda meydana gelen kayma hızlarının ve akım hızlarının arttığı, bu duruma bağlı olarak oyulma ve askıya kalkan katı madde miktarlarının arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca askıya kalkan katı maddenin yüzer cisim genişliğinin değiştirilmediği senaryoya oranla daha fazla alana yayıldığı belirlenmiştir.



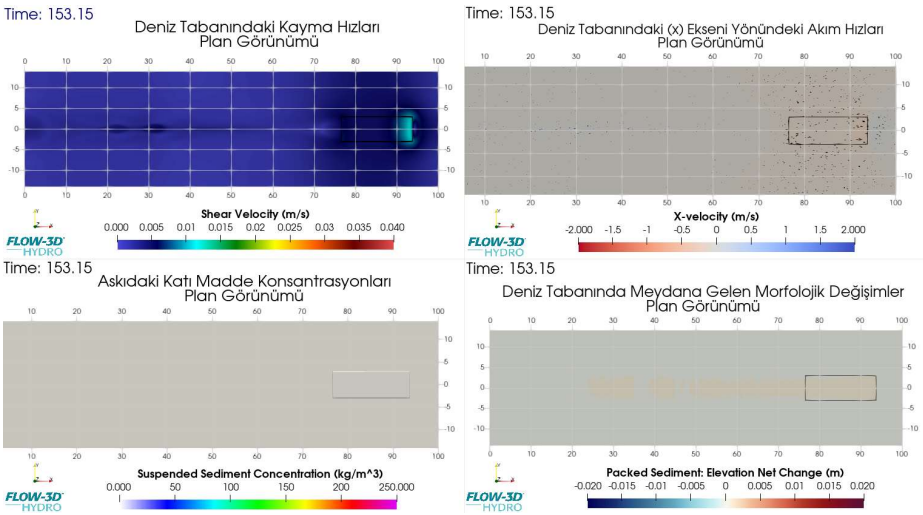
Şekil 4.51: Senaryo-34 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



Şekil 4.52: Senaryo-38 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.

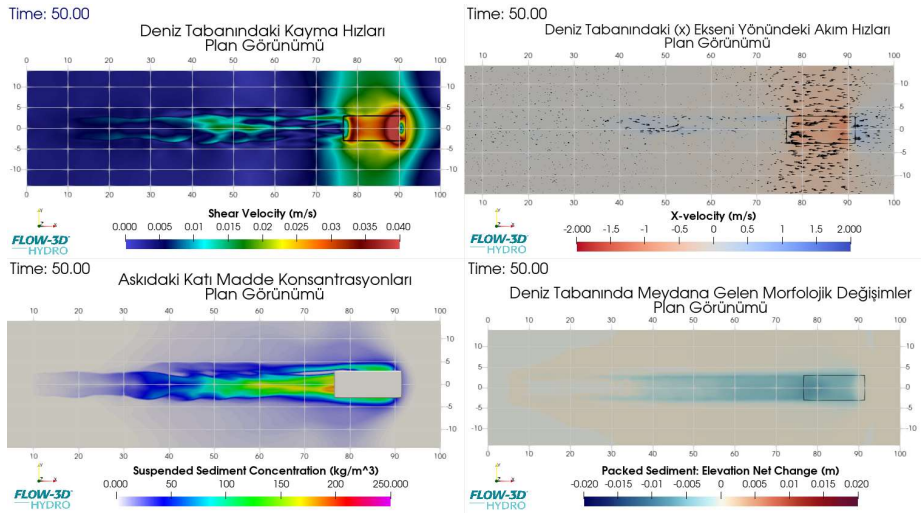


Şekil 4.53: Senaryo-42 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.

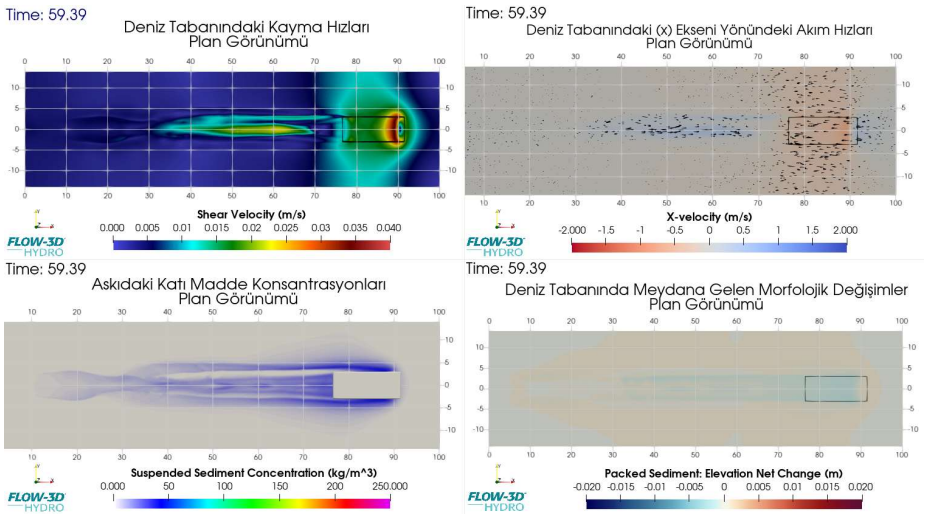


Şekil 4.54: Senaryo-46 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.

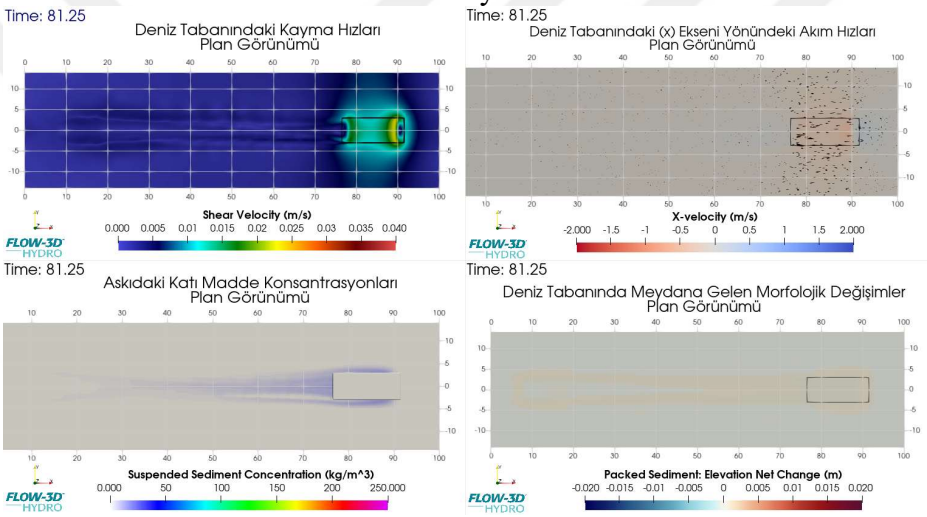
Şekil 4.51~Şekil 4.54 arasında verilen model çıktılarında, modelleme zamanı sonunda temiz açıklık değeri 0,80 m olan küt baş yapısına sahip yüzer bir cismin uzunluğunun artması ve farklı hızlarda çekilmesi ile meydana gelen hidrodinamik ve morfolojik değerler sunulmaktadır. Şekil 4.43~Şekil 4.46 arasında sunulan model çıktıları ile yüzer cismin uzunluğunun arttırıldığı Şekil 4.51~Şekil 4.54 arasında sunulan model çıktıları karşılaştırıldığında, tabandaki kayma hızları ve akım hızlarının hemen hemen aynı kaldığı, buna bağlı olarak oyulma ve askıya kalkan katı madde miktarlarının ve yayılma alanlarının aynı düzeyde kaldığı gözlemlenmektedir.



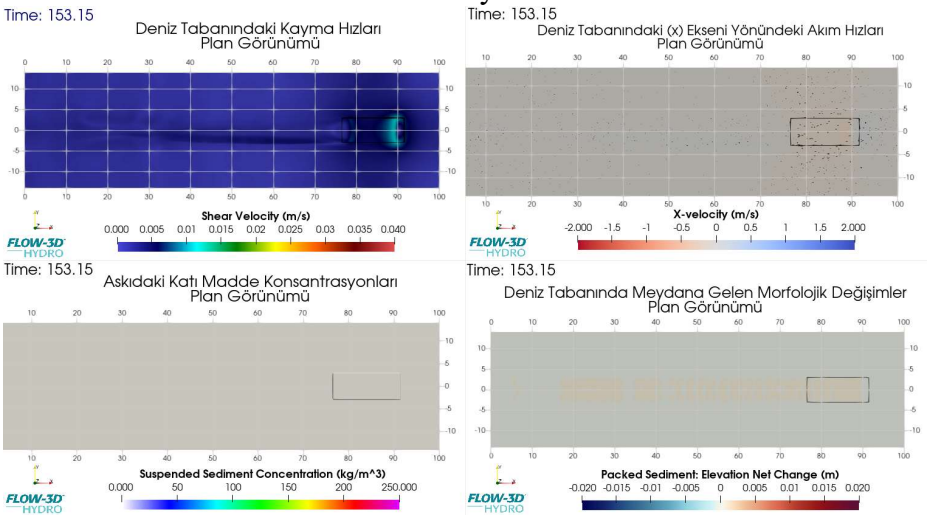
Şekil 4.55: Senaryo-50 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



Şekil 4.56: Senaryo-54 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.

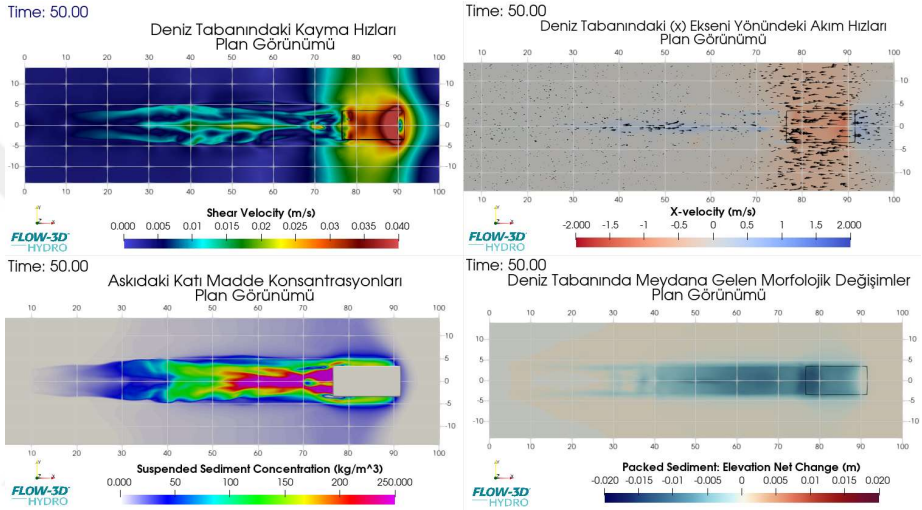


Şekil 4.57: Senaryo-58 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.

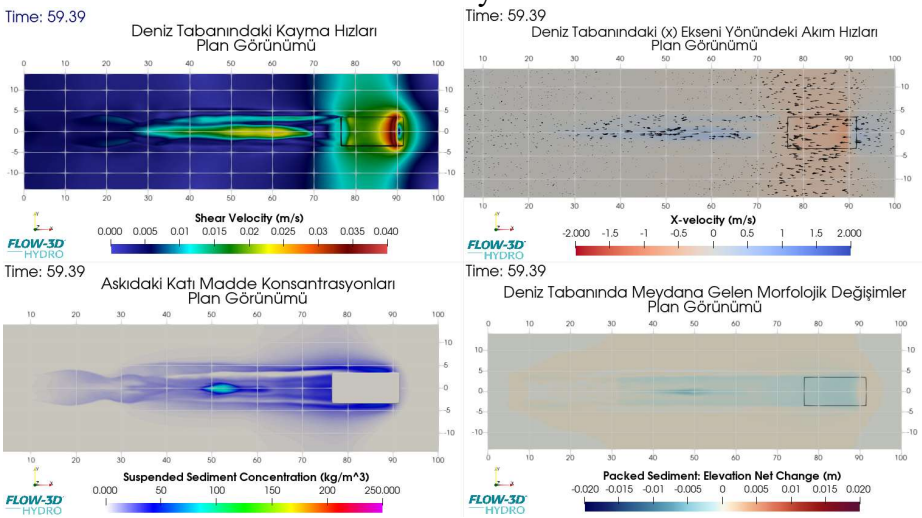


Şekil 4.58: Senaryo-62 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.

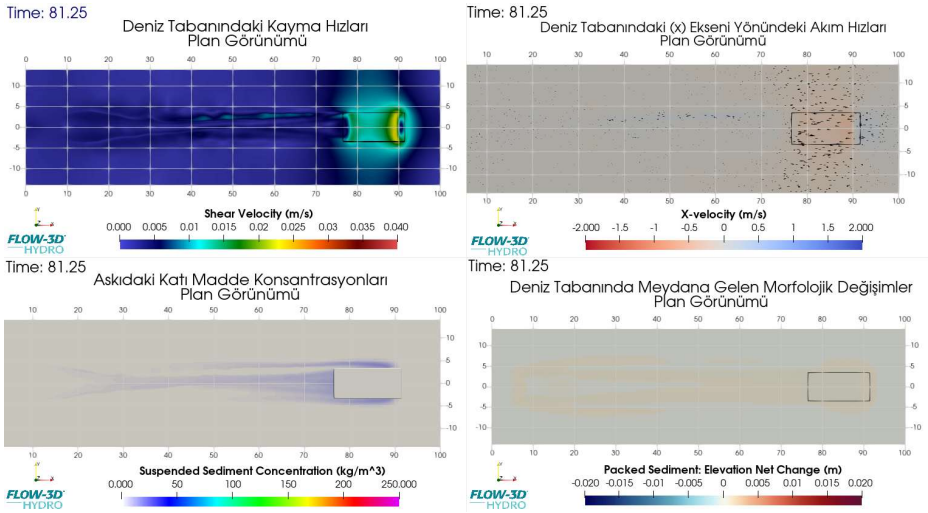
Şekil 4.55~Şekil 4.58 arasında verilen model çıktılarında, modelleme zamanı sonunda temiz açıklık değeri 0,80 m olan eğimli baş yapısına sahip yüzer bir cismin farklı hızlarda çekilmesi ile meydana gelen hidrodinamik ve morfolojik değerler sunulmaktadır. Buna göre, çekilme hızı değerinin en yüksek olduğu 2 m/s çekilme hızında tabanda meydana gelen kayma hızlarının yüzer cismin çekilme hızının yavaşladığı senaryolara oranla daha yüksek olduğu, özellikle en yüksek kayma hızlarının yüzer cismin baş kısmının altı ve çevresinde meydana geldiği gözlemlenmektedir. Bu duruma bağlı olarak tabandaki oyulmaların özellikle baş kısmının altında meydana geldiği ve askıya kalkan katı maddenin özellikle bu bölgede daha yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir.



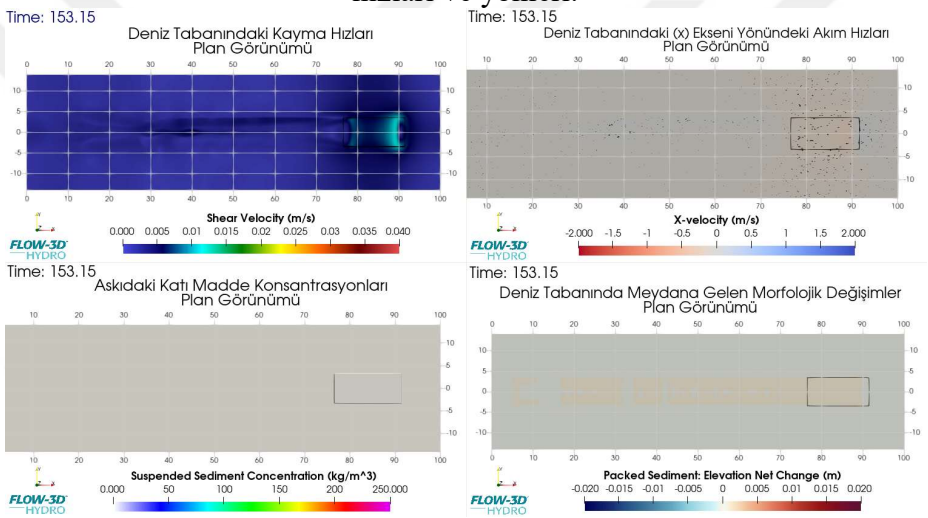
Şekil 4.59: Senaryo-66 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



Şekil 4.60: Senaryo-70 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.

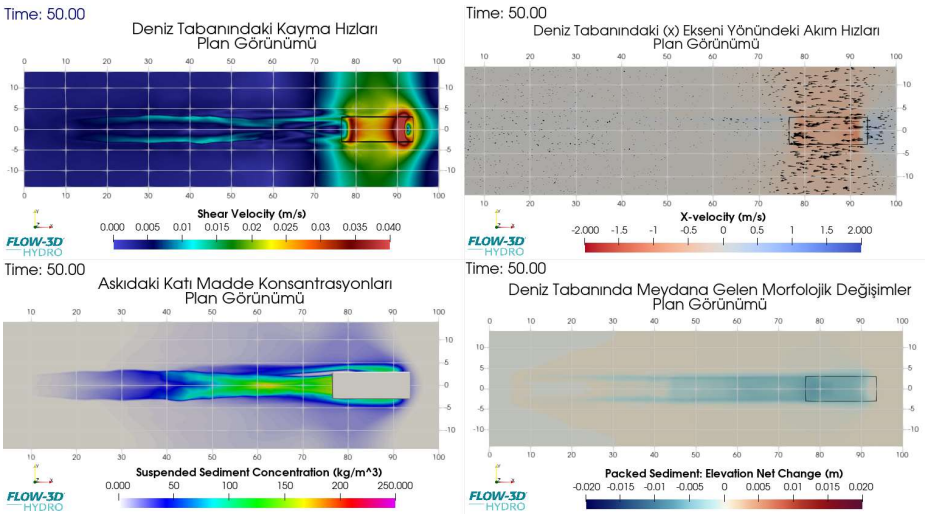


Şekil 4.61: Senaryo-74 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.

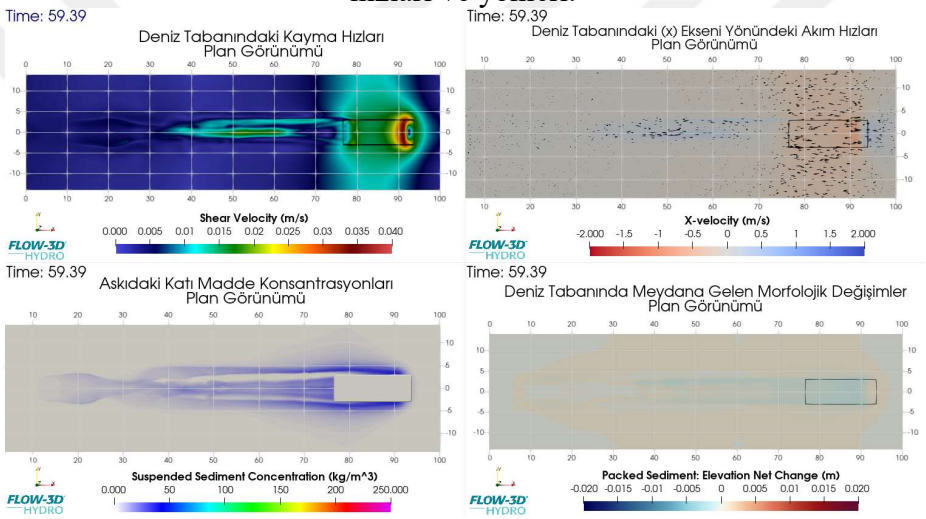


Şekil 4.62: Senaryo-78 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.

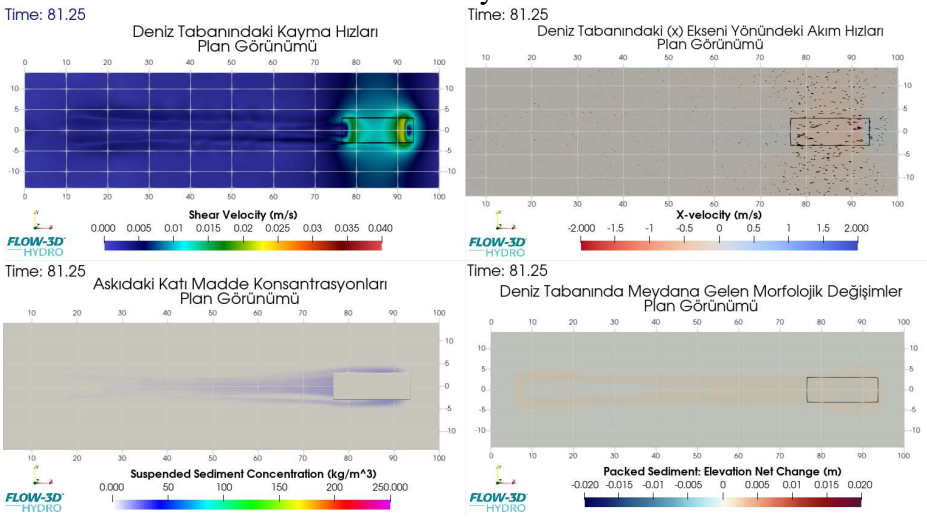
Şekil 4.59~Şekil 4.62 arasında verilen model çıktılarında, modelleme zamanı sonunda temiz açıklık değeri 0,80 m olan eğimli baş yapısına sahip yüzer bir cismin genişliğinin artması durumu ve farklı hızlarda çekilmesi ile meydana gelen hidrodinamik ve morfolojik değerler sunulmaktadır. Şekil 4.55~Şekil 4.58 arasında sunulan model çıktıları ile yüzer cismin genişliğinin arttırıldığı Şekil 4.59~Şekil 4.62 arasında sunulan model çıktıları karşılaştırıldığında, tabanda meydana gelen kayma hızlarının ve akım hızlarının arttığı, bu duruma bağlı olarak oyulma ve askıya kalkan katı madde miktarlarının arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca askıya kalkan katı maddenin yüzer cisim genişliğinin değiştirilmediği senaryoya oranla daha fazla alana yayıldığı belirlenmiştir.



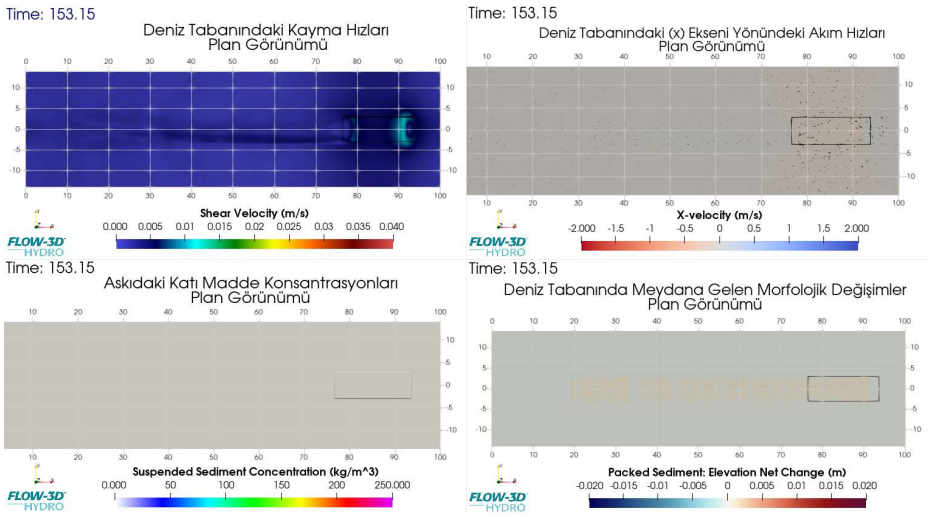
Şekil 4.63: Senaryo-82 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



Şekil 4.64: Senaryo-86 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



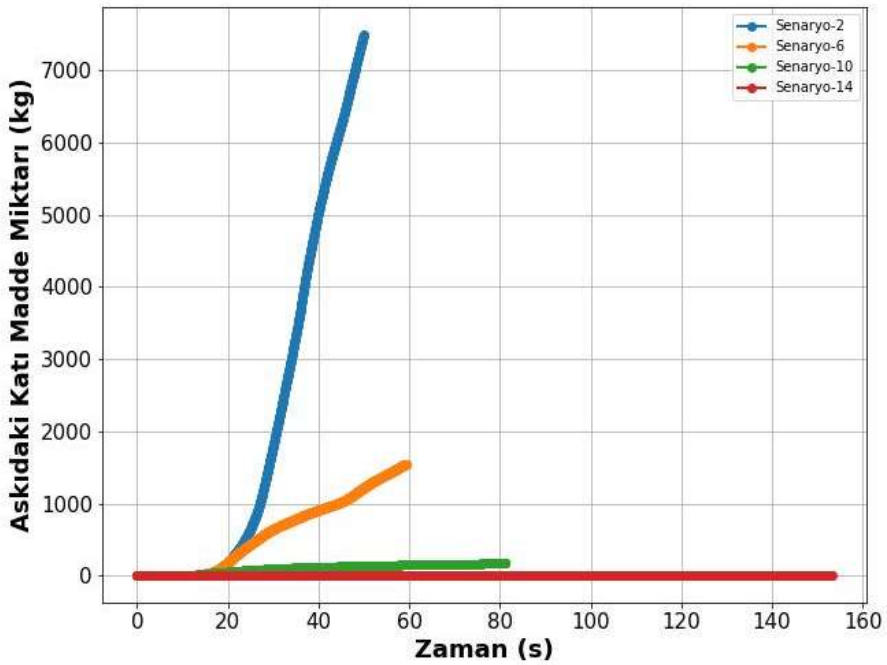
Şekil 4.65: Senaryo-90 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



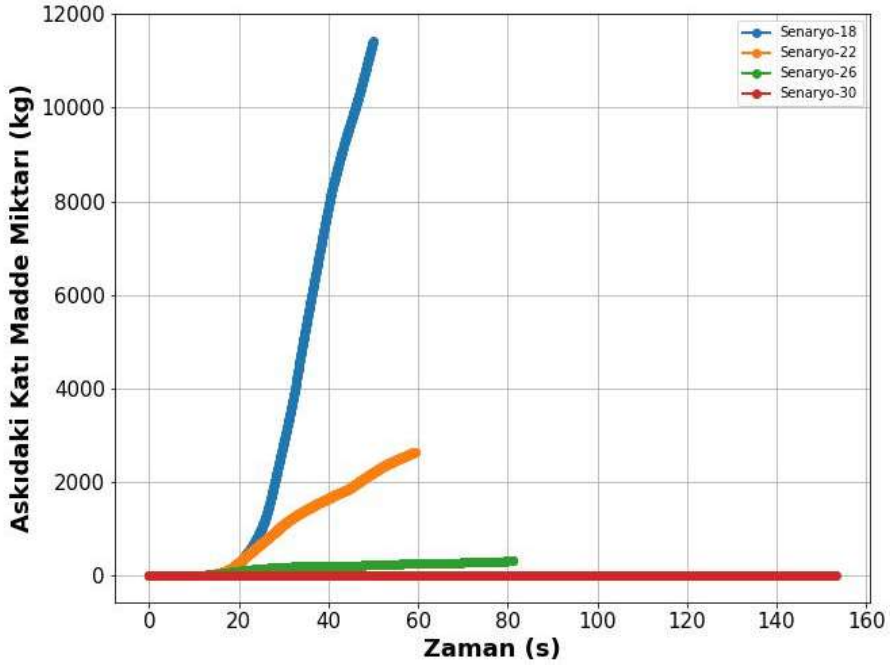
Şekil 4.66: Senaryo-94 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.

Şekil 4.63~Şekil 4.66 arasında verilen model çıktılarında, modelleme zamanı sonunda temiz açıklık değeri 0,80 m olan eğimli baş yapısına sahip yüzer bir cismin uzunluğunun artması ve farklı hızlarda çekilmesi ile meydana gelen hidrodinamik ve morfolojik değerler sunulmaktadır. Şekil 4.55~Şekil 4.58 arasında sunulan model çıktıları ile yüzer cismin uzunluğunun arttırıldığı Şekil 4.63~Şekil 4.66 arasında sunulan model çıktıları karşılaştırıldığında, tabandaki kayma hızları ve akım hızlarının hemen hemen aynı kaldığı, buna bağlı olarak oyulma ve askıya kalkan katı madde miktarlarının ve yayılma alanlarının aynı düzeyde kaldığı gözlemlenmektedir.

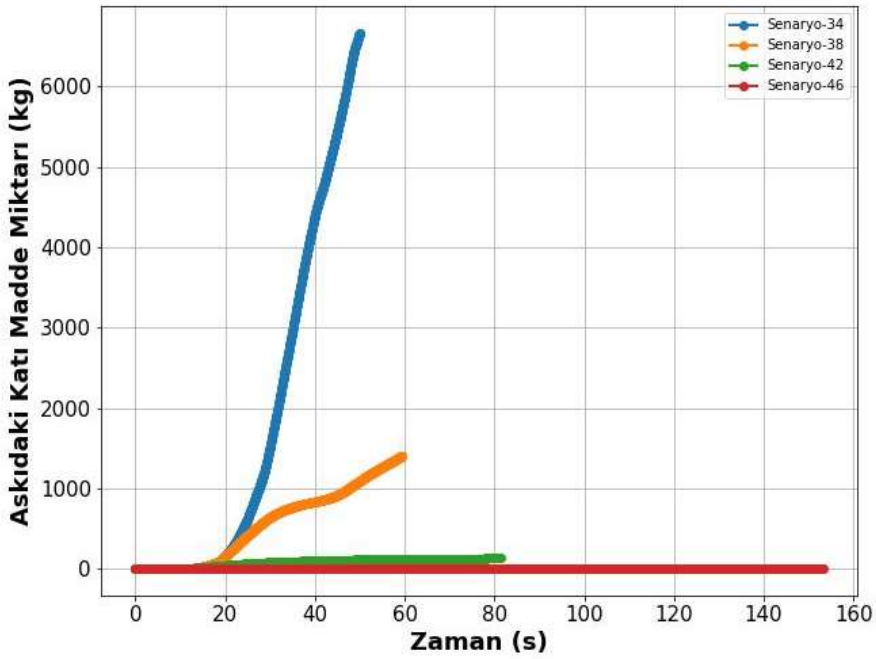
Farklı çekilme hızları, farklı temiz açıklık, farklı boyutlara (genişleme/uzama) sahip küt baş yapılı yüzer cismin meydana getirdiği morfolojik etkilerin daha iyi incelenmesi amacıyla bazı senaryolara ait zamana bağlı askıya kalkan katı madde miktarlarının değişimleri Şekil 4.67~Şekil 4.72 arasında sunulmuş olup, sunulan grafikler temiz açıklığın 0,80 m olduğu senaryolar için oluşturulmuştur.



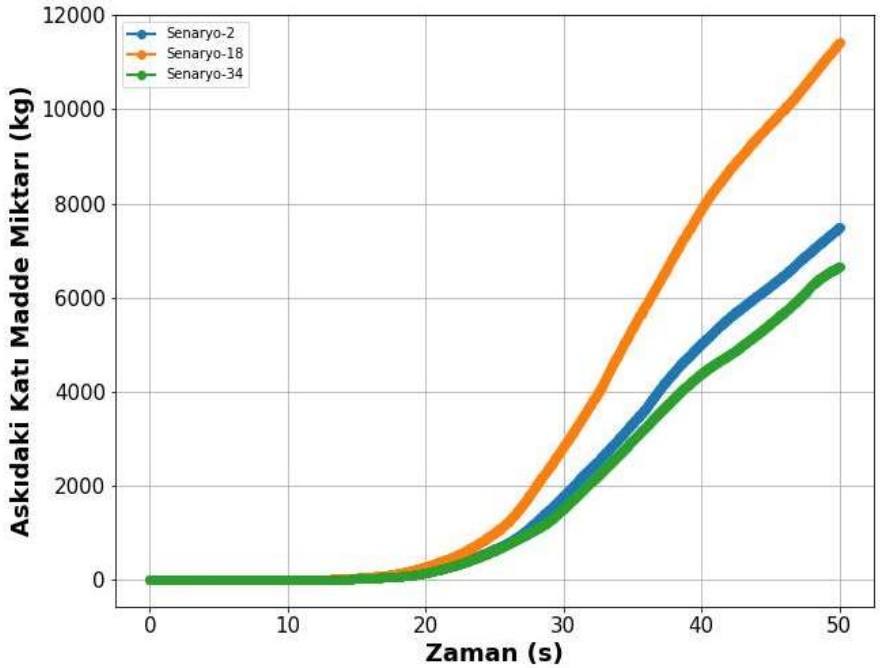
Şekil 4.67: Temiz açıklığın 0,80 m olduğu durumda farklı hız değişimlerine (Senaryo 2-6-10 ve 14 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (küt baş yapısına sahip yüzer cisim).



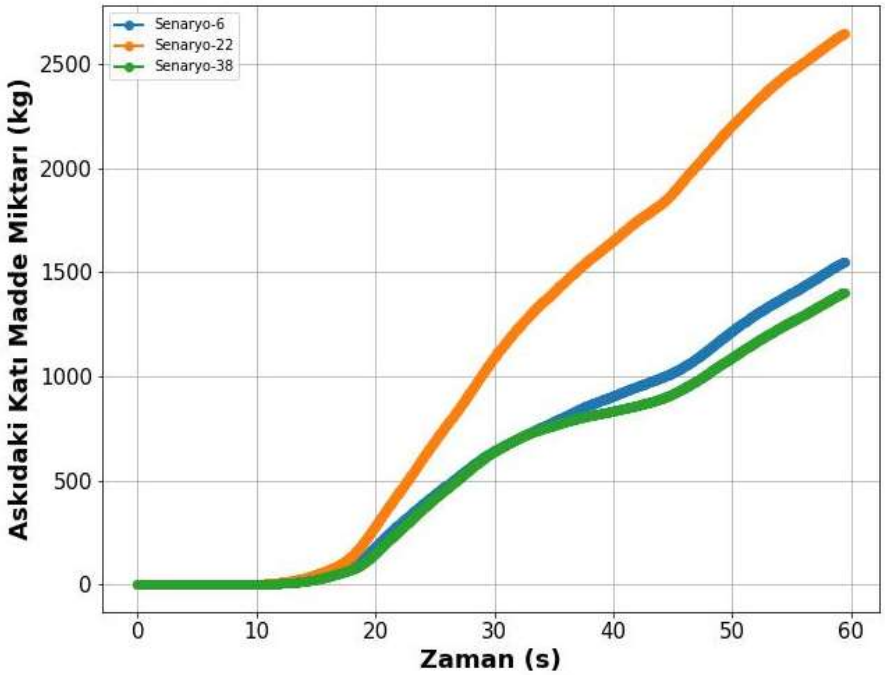
Şekil 4.68: Temiz açıklığın 0,80 m olduğu durumda farklı hız değişimlerine (Senaryo 18-22-26 ve 30 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (küt baş yapısına sahip yüzer cisim, genişliğin arttırıldığı durum).



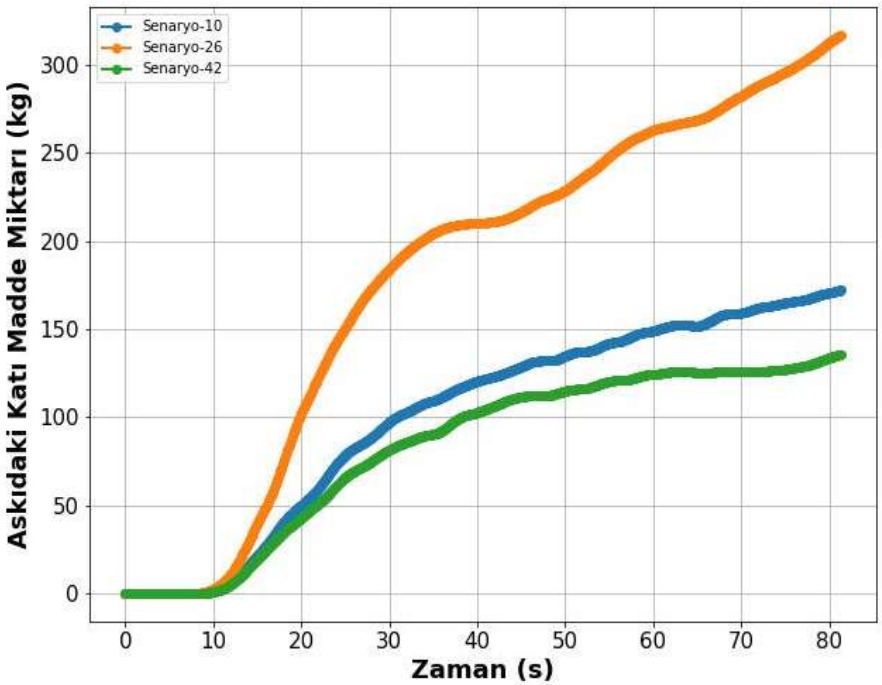
Şekil 4.69: Temiz açıklığın 0,80 m olduğu durumda farklı hız değişimlerine (Senaryo 34-38-42 ve 46 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (küt baş yapısına sahip yüzer cisim, uzunluğun arttırıldığı durum).



Şekil 4.70: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 2 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo-18-34, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (küt baş yapısına sahip yüzer cisim).



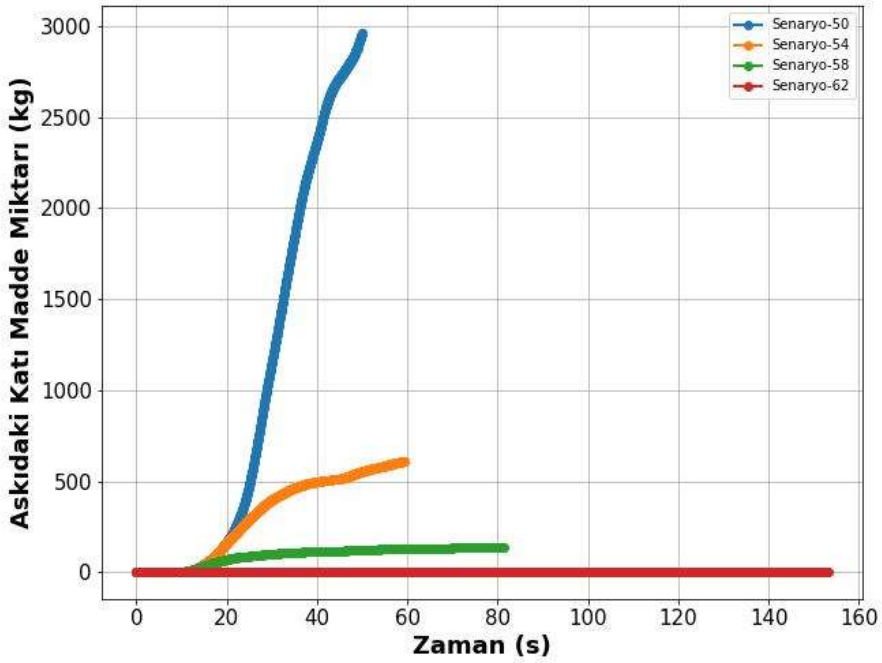
Şekil 4.71: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 1,5 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo-22-38, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (küt baş yapısına sahip yüzer cisim).



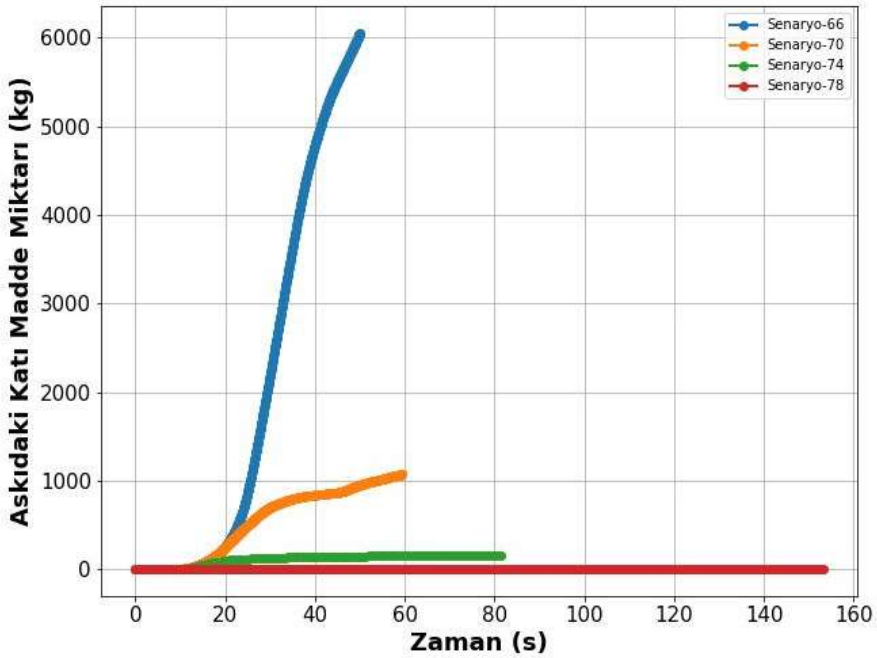
Şekil 4.72: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 1 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo-26-42, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (küt baş yapısına sahip yüzer cisim).

Farklı çekilme hızları, farklı temiz açıklık, farklı boyutlara (genişleme/uzama) sahip eğimli baş yapılı yüzer cismin meydana getirdiği morfolojik etkilerin daha iyi incelenmesi amacıyla

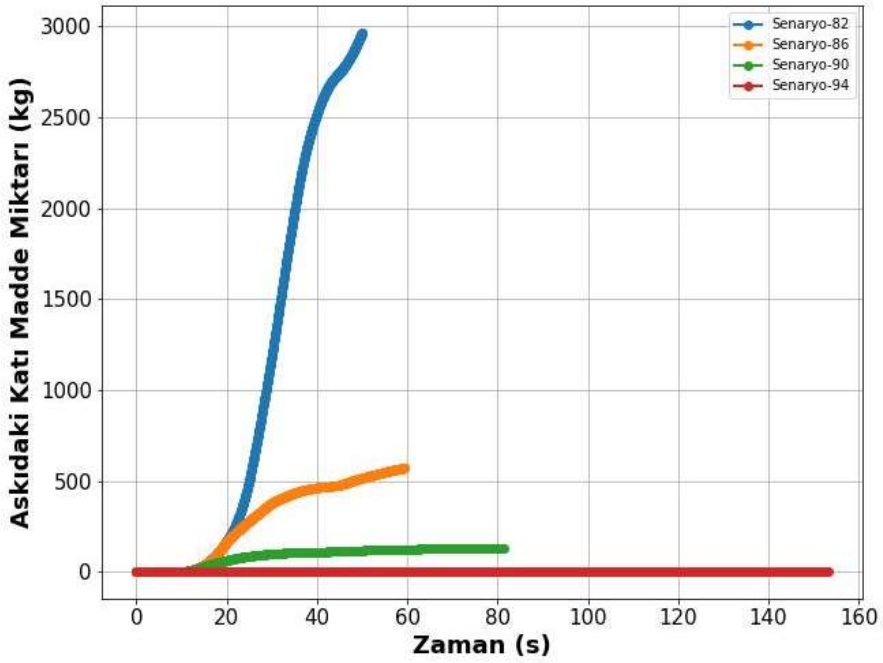
bazı senaryolara ait zamana bağlı askıya kalkan katı madde miktarlarının değişimleri Şekil 4.73~Şekil 4.78 arasında sunulmuş olup, sunulan grafikler temiz açıklığın 0,80 m olduğu senaryolar için oluşturulmuştur.



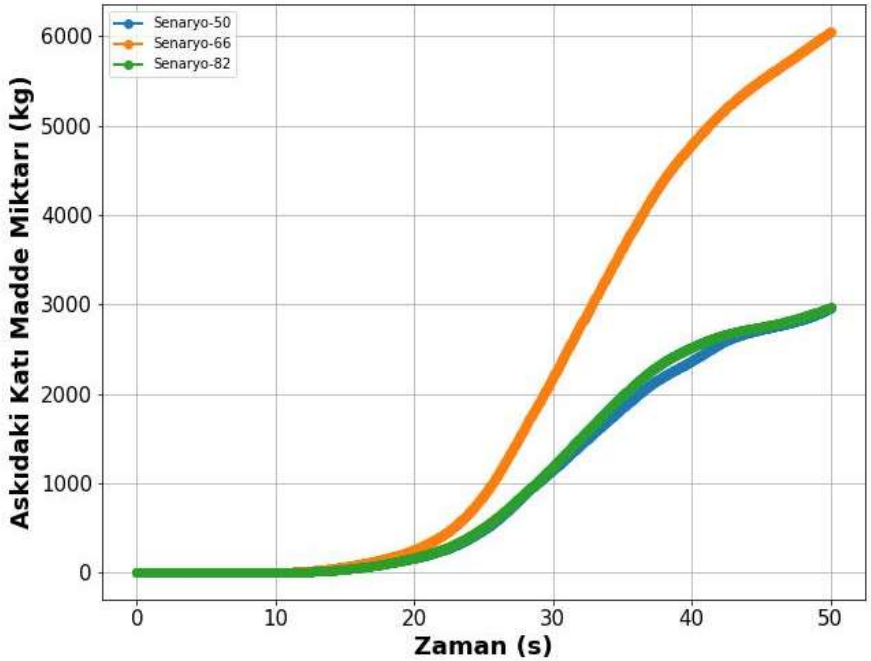
Şekil 4.73: Temiz açıklığın 0,80 m olduğu durumda farklı hız değişimlerine (Senaryo 50-54-58 ve 62 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim).



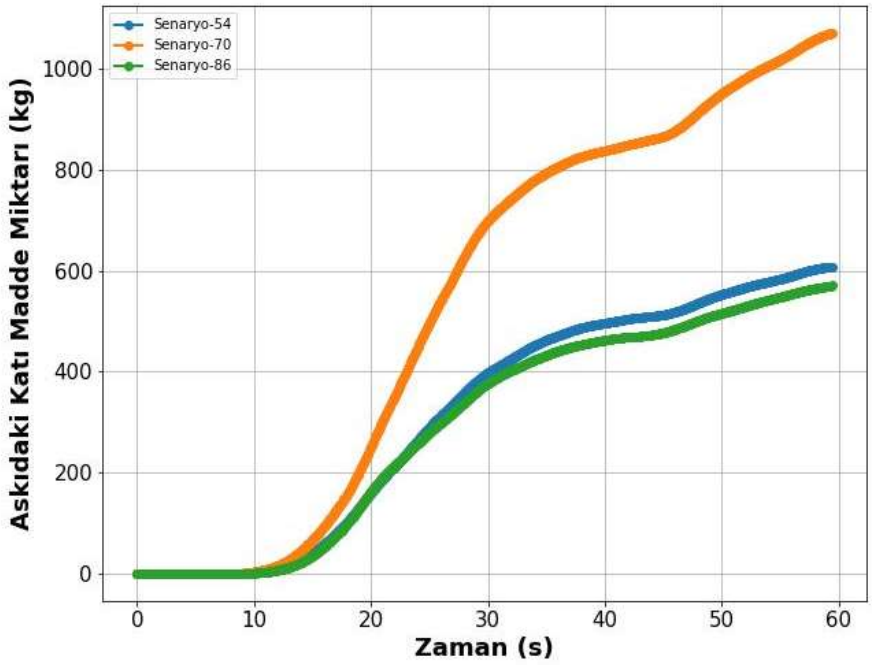
Şekil 4.74: Temiz açıklığın 0,80 m olduğu durumda farklı hız değişimlerine (Senaryo 66-70-74 ve 78 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim, genişliğin arttırıldığı durum).



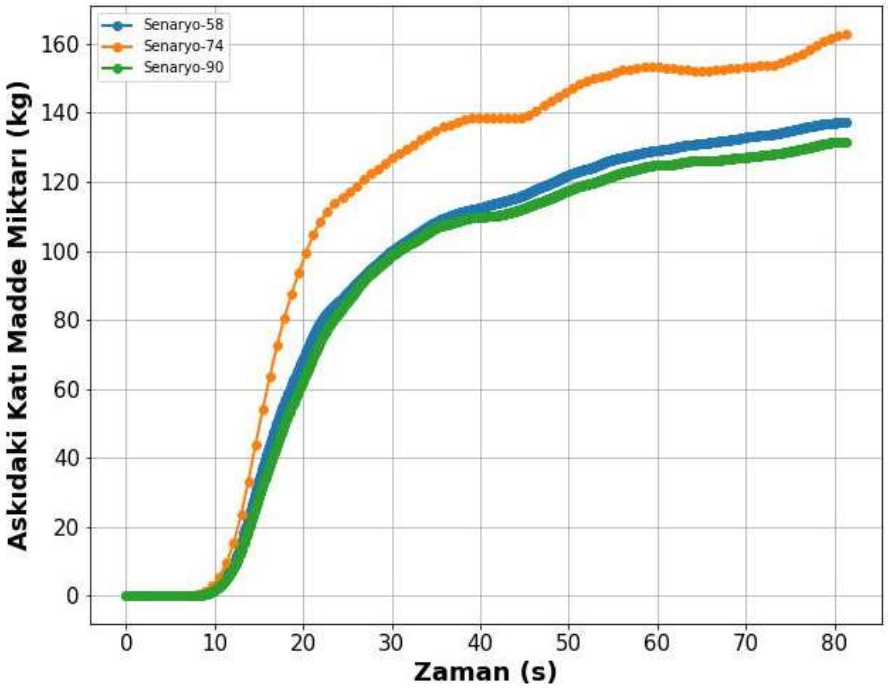
Şekil 4.75: Temiz açıklığın 0,80 m olduğu durumda farklı hız değişimlerine (Senaryo 82-86-90 ve 94 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim, uzunluğun arttırıldığı durum).



Şekil 4.76: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 2 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo-66-82, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim).



Şekil 4.77: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 1,5 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo-70-86, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim).



Şekil 4.78: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 1 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo-74-90, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı olarak askıya kalkan katı madde miktarları (eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim).

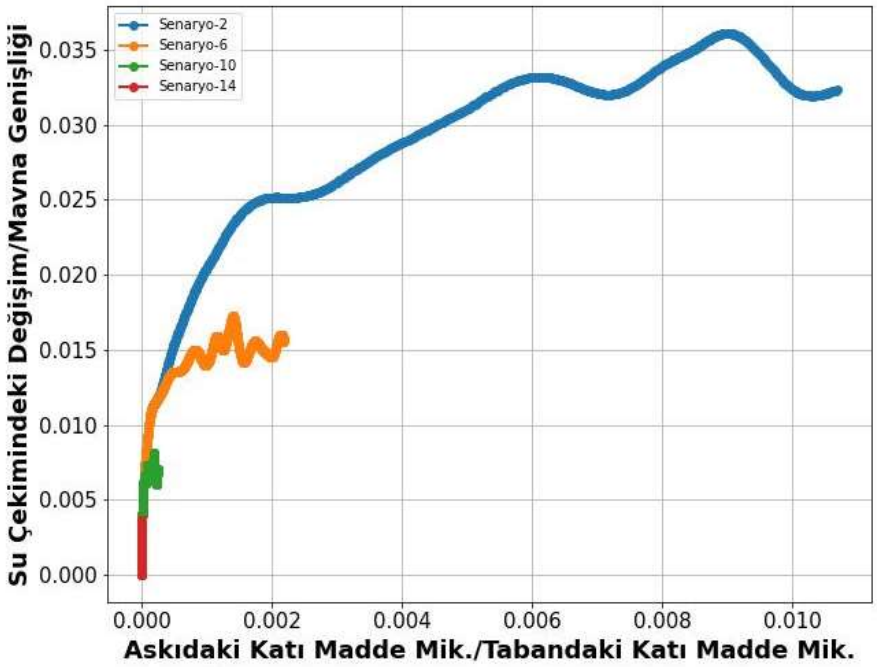
Askıdaki katı madde miktarı (kg) ve tabandaki katı madde miktarı (kg) kendi aralarında:

$$\frac{\text{Askıdaki katı madde miktarı}}{\text{Tabandaki katı madde miktarı}} = \frac{(\text{kg})}{(\text{kg})}$$

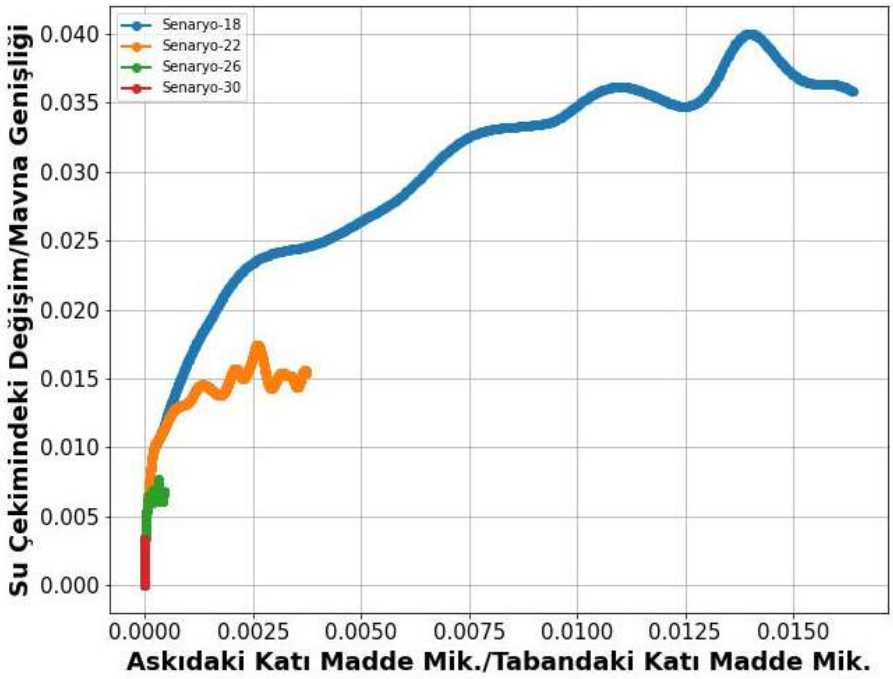
Yüzer cismin su çekimindeki değişim miktarı (m) ise yüzer cisim genişliği (m) ile:

$$\frac{\text{Yüzer cismin su çekimindeki değişim miktarı}}{\text{Yüzer cisim genişliği}} = \frac{(\text{m})}{(\text{m})}$$

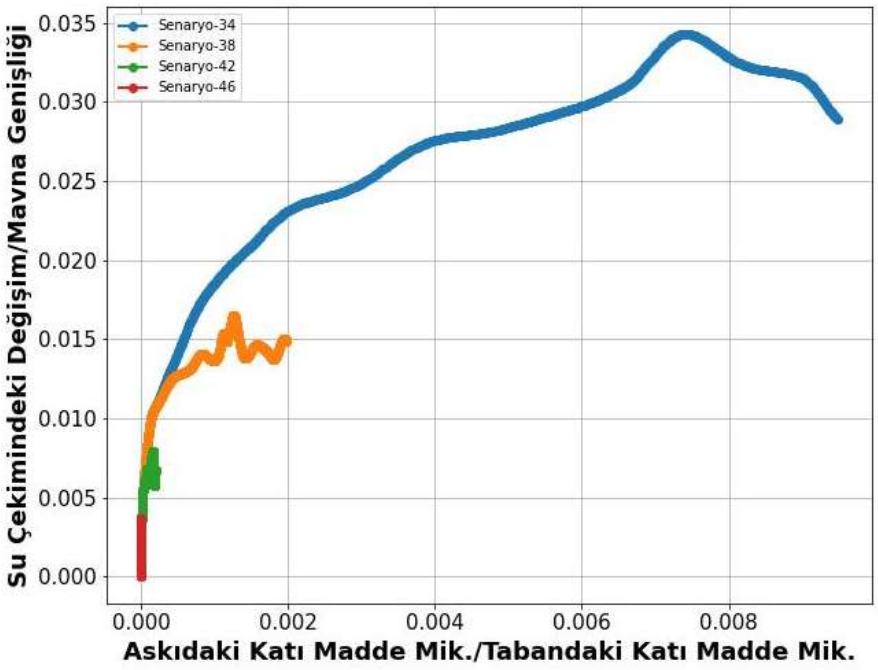
ile boyutsuzlaştırılarak yüzer cisim çekilme hızındaki değişim, temiz açıklıktaki değişim ve yüzer cisim boyutlarındaki (genişlik/uzama) değişimlere bağlı olarak Şekil 4.79~Şekil 4.85'de gösterilen grafikler sunulmuştur.



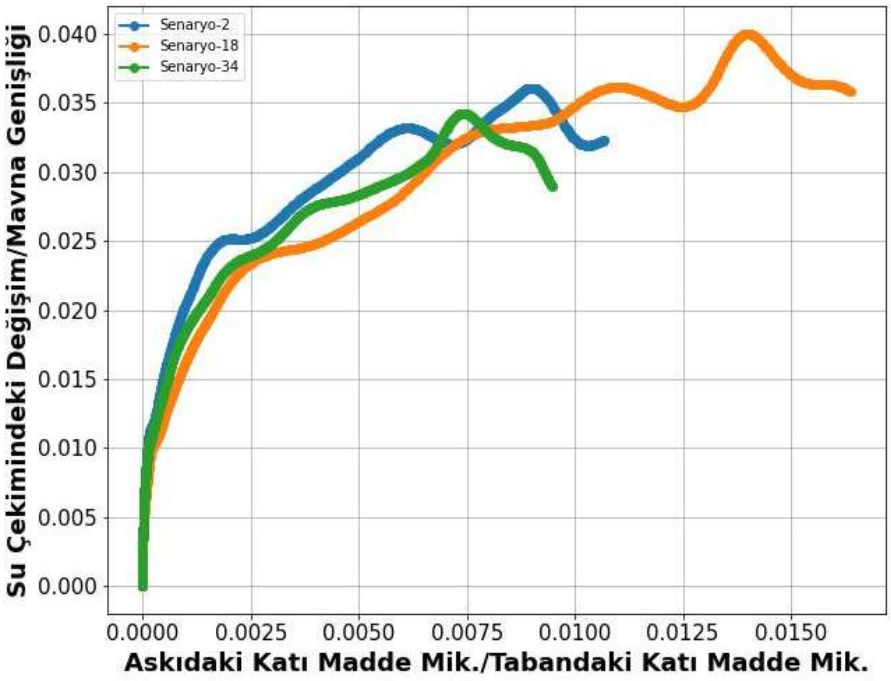
Şekil 4.79: Temiz açıklığın 0,80 m ve farklı hız değişimlerinde (Senaryo 2-6-10 ve 14 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) meydana gelen durum (küt baş yapısına sahip yüzer cisim).



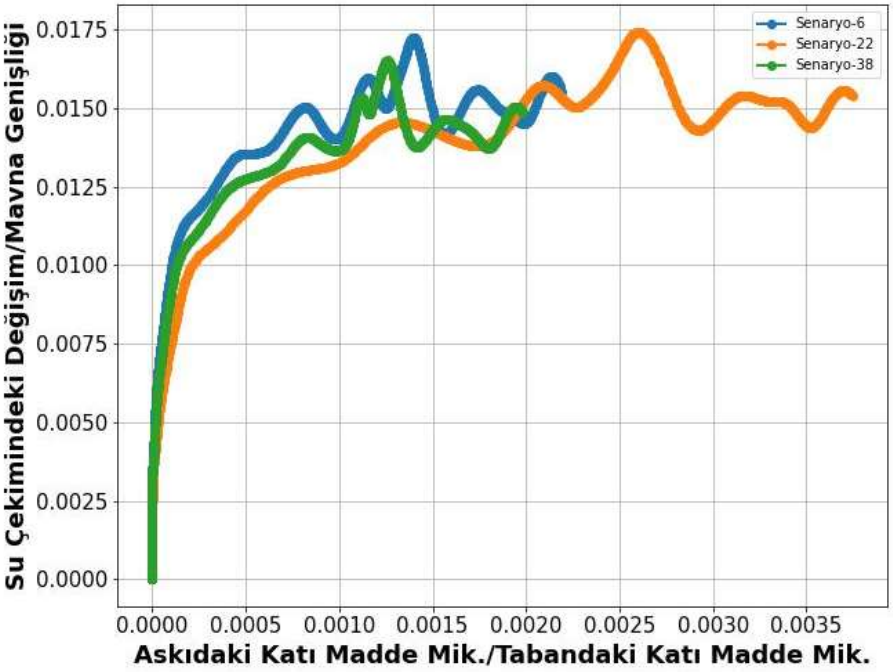
Şekil 4.80: Temiz açıklığın 0,80 m olduğu ve yüzer cismin genişliğinin arttırıldığı durumda farklı hız değişimlerine bağlı (Senaryo 18-22-26 ve 30 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) meydana gelen durum (küt baş yapısına sahip yüzer cisim).



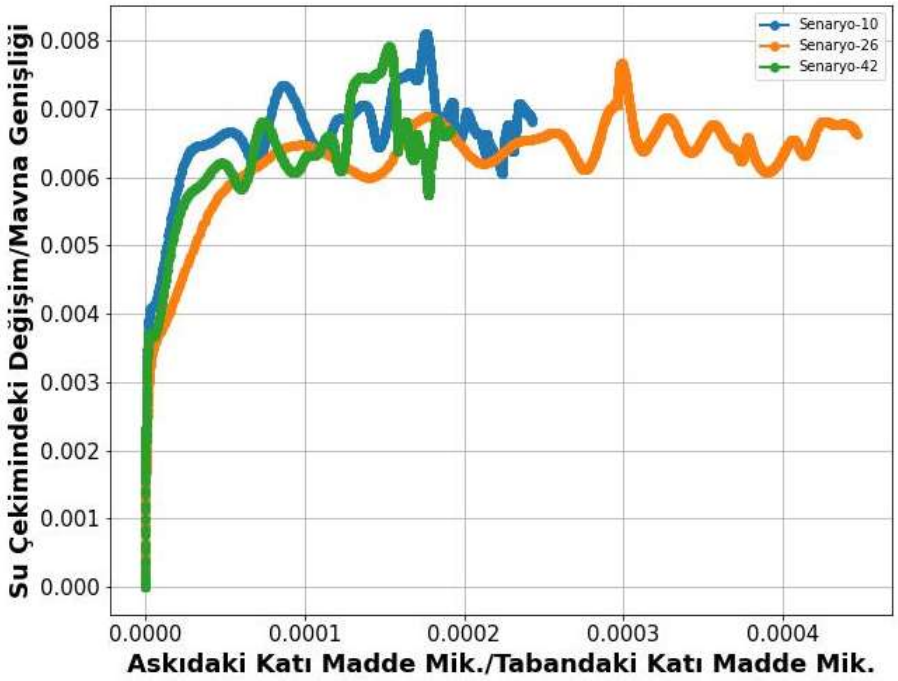
Şekil 4.81: Temiz açıklığın 0,80 m olduğu ve yüzer cismin uzunluğunun arttırıldığı durumda farklı hız değişimlerine bağlı (Senaryo 34-38-42 ve 46 için sırasıyla 2-1,5-1-0,5 m/s) meydana gelen durum (küt baş yapısına sahip yüzer cisim).



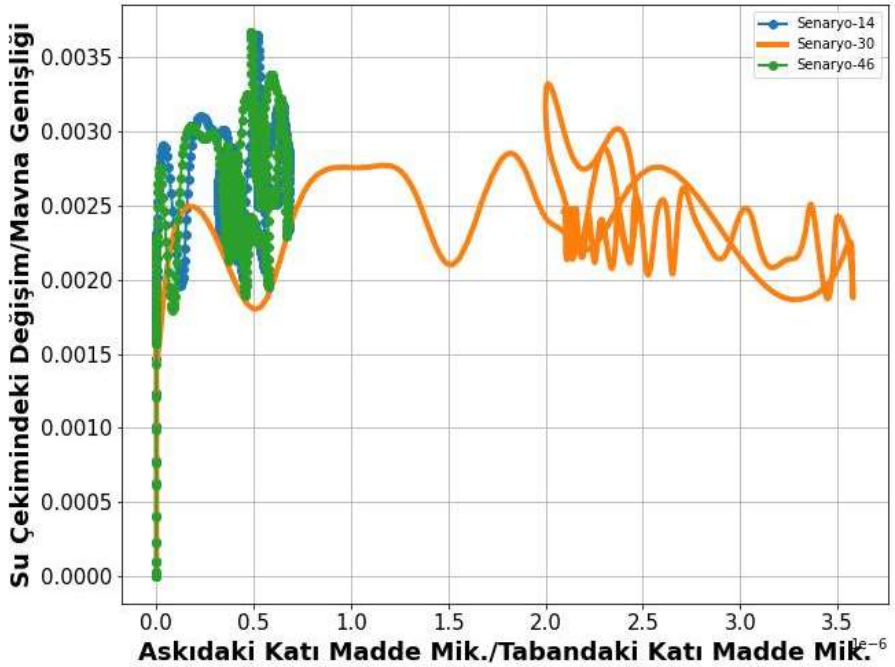
Şekil 4.82: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 2 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo 18-34, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı meydana gelen durum (küt baş yapısına sahip yüzer cisim).



Şekil 4.83: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 1,5 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo 22-38, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı meydana gelen durum (küt baş yapısına sahip yüzer cisim).



Şekil 4.84: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 1,0 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo 26-42, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı meydana gelen durum (küt baş yapısına sahip yüzer cisim).



Şekil 4.85: Temiz açıklığın 0,80 m, çekilme hızının 0,5 m/s olduğu durumda yüzer cisim boyutlarının değişmesine (Senaryo 30-46, sırasıyla genişleme ve boy uzama) bağlı meydana gelen durum (küt baş yapısına sahip yüzer cisim).

Şekil 4.79~Şekil 4.85'de yer alan grafikler incelendiğinde, su çekimindeki değişimin artması ya da yüzer cismin genişlemesi durumunda askıdaki katı madde miktarlarının oldukça arttığı, çekilme hızı yükseldikçe askıdaki katı madde miktarının arttığı bunun yanı sıra yüzer cismin boyunun artmasına bağlı olarak askıdaki katı madde miktarının bir miktar azaldığı

gözlemlenmektedir. Ayrıca Şekil 4.85'den görüldüğü üzere düşük çekilme hızı veya temiz açıklığın yüksek olduğu durumlarda askıya kalkan oldukça düşük miktardaki katı maddenin belirli bir süre zarfı sonunda çökelerek tekrar deniz tabanına yerleştiği görülmektedir.

Tablo 4.6~Tablo 4.9 arasında her bir senaryoda modelleme zamanı sonunda askıya kalkan katı madde miktarları sunulmuş olup, her bir modelleme grubu içerisinde bir baz senaryo seçilerek o grup içerisinde askıdaki katı madde miktarlarında hangi oranda değişim meydana geldiği gösterilmiştir.

Tablo 4.6: Askıdaki katı madde miktarları açısından sayısal model sonuçlarının karşılaştırılmaları, 1-24 numaralı senaryolar.

Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Yüzer Cismin Uzunluğu (m)	Yüzer Cismin Genişliği (m)	Yüzer Cismin Çekilme Hızı (m/s)	Yüzer Cismin Tabanının Deniz Tabanına Olan Mesafesi (Temiz Açıklık) (m)	Baz Senaryo	Yüzer Cismin Çekilme Hızındaki Değişim (kat)	Temiz Açıklıktaki Değişim (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı Değişimi (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı (kg)
Senaryo-1	Küt Baş	15	6	2	0.4	Senaryo-4	Değişim Yok	-	Tabana Temas Var	-
Senaryo-2					0.8			1.5	9.8	7499.7
Senaryo-3					1.0			1.2	3.5	2654.2
Senaryo-4					1.2			1	1	763.3
Senaryo-5	Küt Baş	15	6	1.5	0.4	Senaryo-8	Değişim Yok	3.0	132.6	13195.8
Senaryo-6					0.8			1.5	15.6	1549.6
Senaryo-7					1.0			1.2	5.8	578.8
Senaryo-8					1.2			1	1	99.5
Senaryo-9	Küt Baş	15	6	1	0.4	Senaryo-12	Değişim Yok	3.0	336.1	2625.1
Senaryo-10					0.8			1.5	22.1	172.3
Senaryo-11					1.0			1.2	4.2	33.1
Senaryo-12					1.2			1	1	7.8
Senaryo-13	Küt Baş	15	6	0.5	0.4	Senaryo-14	Değişim Yok	3.0	165.0	36.9
Senaryo-14					0.8			1.5	1	0.2
Senaryo-15					1.0			1.2	Hareket Yok	0.0
Senaryo-16					1.2			1	Hareket Yok	0.0
Senaryo-17	Küt Baş	15	6.9	2	0.4	Senaryo-20	Değişim Yok	-	Tabana Temas Var	-
Senaryo-18					0.8			1.5	9.6	11433.5
Senaryo-19					1.0			1.2	4.2	4953.5
Senaryo-20					1.2			1	1	1192.4
Senaryo-21	Küt Baş	15	6.9	1.5	0.4	Senaryo-24	Değişim Yok	-	Tabana Temas Var	-
Senaryo-22					0.8			1.5	15.1	2648.3
Senaryo-23					1.0			1.2	6.3	1110.5
Senaryo-24					1.2			1	1	175.2

Tablo 4.7: Askıdaki katı madde miktarları açısından sayısal model sonuçlarının karşılaştırılmaları, 25-48 numaralı senaryolar.

Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Yüzer Cismin Uzunluğu (m)	Yüzer Cismin Genişliği (m)	Yüzer Cismin Çekilme Hızı (m/s)	Yüzer Cismin Tabanının Deniz Tabanına Olan Mesafesi (Temiz Açıklık) (m)	Baz Senaryo	Yüzer Cismin Çekilme Hızındaki Değişim (kat)	Temiz Açıklıktaki Değişim (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı Değişimi (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı (kg)
Senaryo-25	Küt Baş	15	6.9	1	0.4	Senaryo-28	Değişim Yok	3.0	204.1	3706.4
Senaryo-26					0.8			1.5	17.4	316.7
Senaryo-27					1.0			1.2	3.5	64.4
Senaryo-28					1.2			1	1	18.2
Senaryo-29	Küt Baş	15	6.9	0.5	0.4	Senaryo-30	Değişim Yok	3.0	41.4	61.4
Senaryo-30					0.8			1.5	1	1.5
Senaryo-31					1.0			1.2	Hareket Yok	0.0
Senaryo-32					1.2			1	Hareket Yok	0.0
Senaryo-33	Küt Baş	17.25	6	2	0.4	Senaryo-36	Değişim Yok	-	Tabana Temas Var	-
Senaryo-34					0.8			1.5	9.1	6664.4
Senaryo-35					1.0			1.2	2.5	1825.5
Senaryo-36					1.2			1	1	729.1
Senaryo-37	Küt Baş	17.25	6	1.5	0.4	Senaryo-40	Değişim Yok	3.0	117.4	11193.3
Senaryo-38					0.8			1.5	14.7	1404.7
Senaryo-39					1.0			1.2	5.4	515.2
Senaryo-40					1.2			1	1	95.4
Senaryo-41	Küt Baş	17.25	6	1	0.4	Senaryo-44	Değişim Yok	3.0	331.9	2410.8
Senaryo-42					0.8			1.5	18.7	135.7
Senaryo-43					1.0			1.2	4.5	32.3
Senaryo-44					1.2			1	1	7.3
Senaryo-45	Küt Baş	17.25	6	0.5	0.4	Senaryo-46	Değişim Yok	3.0	144.5	34.9
Senaryo-46					0.8			1.5	1	0.2
Senaryo-47					1.0			1.2	Hareket Yok	0.0
Senaryo-48					1.2			1	Hareket Yok	0.0

Tablo 4.8: Askıdaki katı madde miktarları açısından sayısal model sonuçlarının karşılaştırılmaları, 48-72 numaralı senaryolar.

Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Yüzer Cismin Uzunluğu (m)	Yüzer Cismin Genişliği (m)	Yüzer Cismin Çekilme Hızı (m/s)	Yüzer Cismin Tabanının Deniz Tabanına Olan Mesafesi (Temiz Açıklık) (m)	Baz Senaryo	Yüzer Cismin Çekilme Hızındaki Değişim (kat)	Temiz Açıklıktaki Değişim (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı Değişimi (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı (kg)
Senaryo-49	Eğimli Baş	15	6	2	0.4	Senaryo-52	Değişim Yok	-	Tabana Temas Var	-
Senaryo-50					0.8			1.5	9.8	2963.9
Senaryo-51					1.0			1.2	3.0	921.5
Senaryo-52					1.2			1	1	303.6
Senaryo-53	Eğimli Baş	15	6	1.5	0.4	Senaryo-56	Değişim Yok	3.0	65.3	6291.5
Senaryo-54					0.8			1.5	6.3	608.2
Senaryo-55					1.0			1.2	2.3	221.9
Senaryo-56					1.2			1	1	96.3
Senaryo-57	Eğimli Baş	15	6	1	0.4	Senaryo-60	Değişim Yok	3.0	299.1	1031.8
Senaryo-58					0.8			1.5	39.8	137.5
Senaryo-59					1.0			1.2	9.0	31.0
Senaryo-60					1.2			1	1	3.4
Senaryo-61	Eğimli Baş	15	6	0.5	0.4	Senaryo-64	Değişim Yok	-	Tabana Temas Var	-
Senaryo-62					0.8			1.5	Hareket Yok	0.0
Senaryo-63					1.0			1.2	Hareket Yok	0.0
Senaryo-64					1.2			1	Hareket Yok	0.0
Senaryo-65	Eğimli Baş	15	6.9	2	0.4	Senaryo-68	Değişim Yok	-	Tabana Temas Var	-
Senaryo-66					0.8			1.5	11.6	6051.4
Senaryo-67					1.0			1.2	3.3	1709.5
Senaryo-68					1.2			1	1	521.1
Senaryo-69	Eğimli Baş	15	6.9	1.5	0.4	Senaryo-72	Değişim Yok	-	Tabana Temas Var	-
Senaryo-70					0.8			1.5	6.3	1070.0
Senaryo-71					1.0			1.2	2.1	357.8
Senaryo-72					1.2			1	1	170.3

Tablo 4.9: Askıdaki katı madde miktarları açısından sayısal model sonuçlarının karşılaştırılmaları, 72-96 numaralı senaryolar.

Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Yüzer Cismin Uzunluğu (m)	Yüzer Cismin Genişliği (m)	Yüzer Cismin Çekilme Hızı (m/s)	Yüzer Cismin Tabanının Deniz Tabanına Olan Mesafesi (Temiz Açıklık) (m)	Baz Senaryo	Yüzer Cismin Çekilme Hızındaki Değişim (kat)	Temiz Açıklıktaki Değişim (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı Değişimi (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı (kg)
Senaryo-73	Eğimli Baş	15	6.9	1	0.4	Senaryo-76	Değişim Yok	3.0	321.6	2914.6
Senaryo-74					0.8			1.5	18.0	162.9
Senaryo-75					1.0			1.2	7.4	66.7
Senaryo-76					1.2			1	1	9.1
Senaryo-77	Eğimli Baş	15	6.9	0.5	0.4	Senaryo-78	Değişim Yok	3.0	121.6	93.6
Senaryo-78					0.8			1.5	1	0.8
Senaryo-79					1.0			1.2	Hareket Yok	0.0
Senaryo-80					1.2			1	Hareket Yok	0.0
Senaryo-81	Eğimli Baş	17.25	6	2	0.4	Senaryo-84	Değişim Yok	-	Tabana Temas Var	-
Senaryo-82					0.8			1.5	10.2	2966.8
Senaryo-83					1.0			1.2	3.0	876.7
Senaryo-84					1.2			1	1	291.9
Senaryo-85	Eğimli Baş	17.25	6	1.5	0.4	Senaryo-88	Değişim Yok	-	Tabana Temas Var	-
Senaryo-86					0.8			1.5	7.0	570.6
Senaryo-87					1.0			1.2	2.7	221.8
Senaryo-88					1.2			1	1	81.7
Senaryo-89	Eğimli Baş	17.25	6	1	0.4	Senaryo-92	Değişim Yok	-	Tabana Temas Var	-
Senaryo-90					0.8			1.5	58.5	131.6
Senaryo-91					1.0			1.2	12.0	27.0
Senaryo-92					1.2			1	1	2.2
Senaryo-93	Eğimli Baş	17.25	6	0.5	0.4	Senaryo-96	Değişim Yok	-	Tabana Temas Var	-
Senaryo-94					0.8			1.5	Hareket Yok	0.0
Senaryo-95					1.0			1.2	Hareket Yok	0.0
Senaryo-96					1.2			1	Hareket Yok	0.0

Tablo 4.10 ve Tablo 4.11'de küt baş yapılı yüzer cisim için her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık değeri sabit tutularak yüzer cismin hızındaki değişime bağlı olarak meydana gelen askıdaki katı madde miktarları oran olarak karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.10: Her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık değeri sabit tutularak yüzer cismin hızındaki değişime bağlı olarak meydana gelen askıdaki katı madde miktarlarının karşılaştırılması (küt baş yapılı yüzer cisim).

Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Yüzer Cismin Uzunluğu (m)	Yüzer Cismin Genişliği (m)	Yüzer Cismin Çekilme Hızı (m/s)	Yüzer Cismin Tabanının Deniz Tabanına Olan Mesafesi (Temiz Açıklık) (m)	Baz Senaryo	Yüzer Cismin Çekilme Hızındaki Değişim (kat)	Temiz Açıklıktaki Değişim (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı Değişimi (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı (kg)
Senaryo-1	Küt Baş	15	6	2.0	0.4	Senaryo-13	4.0	Değişim Yok	Tabana Temas Var	-
Senaryo-5				1.5			3.0		357.3	13195.80
Senaryo-9				1.0			2.0	0,40 m	71.1	2625.10
Senaryo-13				0.5			1		1	36.93
Senaryo-2	Küt Baş	15	6	2.0	0.8	Senaryo-14	4.0	Değişim Yok	33502.4	7499.7
Senaryo-6				1.5			3.0		6922.4	1549.6
Senaryo-10				1.0			2.0	0,80 m	769.6	172.3
Senaryo-14				0.5			1		1	0.2
Senaryo-3	Küt Baş	15	6	2.0	1.0	Senaryo-15	4.0	Değişim Yok	80.1	2654.2
Senaryo-7				1.5			3.0		17.5	578.8
Senaryo-11				1.0			2.0	1,00 m	1.0	33.1
Senaryo-15				0.5			1		Hareket Yok	0.0
Senaryo-4	Küt Baş	15	6	2.0	1.2	Senaryo-16	4.0	Değişim Yok	97.7	763.3
Senaryo-8				1.5			3.0		12.7	99.5
Senaryo-12				1.0			2.0	1,20 m	1.0	7.8
Senaryo-16				0.5			1		Hareket Yok	0.0
Senaryo-17	Küt Baş	15	6.9	2.0	0.4	Senaryo-29	4.0	Değişim Yok	Tabana Temas Var	-
Senaryo-21				1.5			3.0		Tabana Temas Var	-
Senaryo-25				1.0			2.0	0,40 m	60.3	3706.4
Senaryo-29				0.5			1		1	61.4
Senaryo-18	Küt Baş	15	6.9	2.0	0.8	Senaryo-30	4.0	Değişim Yok	7699.9	11433.5
Senaryo-22				1.5			3.0		1783.5	2648.3
Senaryo-26				1.0			2.0	0,80 m	213.3	316.7
Senaryo-30				0.5			1		1	1.5

Tablo 4.11: Her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık değeri sabit tutularak yüzer cismin hızındaki değişime bağlı olarak meydana gelen askıdaki katı madde miktarlarının karşılaştırılması (küt baş yapılı yüzer cisim).

Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Yüzer Cismin Uzunluğu (m)	Yüzer Cismin Genişliği (m)	Yüzer Cismin Çekilme Hızı (m/s)	Yüzer Cismin Tabanının Deniz Tabanına Olan Mesafesi (Temiz Açıklık) (m)	Baz Senaryo	Yüzer Cismin Çekilme Hızındaki Değişim (kat)	Temiz Açıklıktaki Değişim (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı Değişimi (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı (kg)
Senaryo-19	Küt Baş	15	6.9	2.0	1.0	Senaryo-31	4.0	Değişim Yok	77.0	4953.5
Senaryo-23				1.5			3.0		17.3	1110.5
Senaryo-27				1.0			2.0	1,00 m	1.0	64.4
Senaryo-31				0.5			1		Hareket Yok	0.0
Senaryo-20	Küt Baş	15	6.9	2.0	1.2	Senaryo-32	4.0	Değişim Yok	65.7	1192.4
Senaryo-24				1.5			3.0		9.6	175.2
Senaryo-28				1.0			2.0	1,20 m	1.0	18.2
Senaryo-32				0.5			1		Hareket Yok	0.0
Senaryo-33	Küt Baş	17.25	6	2.0	0.4	Senaryo-29	4.0	Değişim Yok	Tabana Temas Var	-
Senaryo-37				1.5			3.0		320.4	11193.3
Senaryo-41				1.0			2.0	0,40 m	69.0	2410.8
Senaryo-45				0.5			1		1	34.9
Senaryo-34	Küt Baş	17.25	6	2.0	0.8	Senaryo-30	4.0	Değişim Yok	27576.8	6664.4
Senaryo-38				1.5			3.0		5812.7	1404.7
Senaryo-42				1.0			2.0	0,80 m	561.5	135.7
Senaryo-46				0.5			1		1	0.2
Senaryo-35	Küt Baş	17.25	6	2.0	1.0	Senaryo-31	4.0	Değişim Yok	56.5	1825.5
Senaryo-39				1.5			3.0		15.9	515.2
Senaryo-43				1.0			2.0	1,00 m	1.0	32.3
Senaryo-47				0.5			1		Hareket Yok	0.0
Senaryo-36	Küt Baş	17.25	6	2.0	1.2	Senaryo-32	4.0	Değişim Yok	100.4	729.1
Senaryo-40				1.5			3.0		13.1	95.4
Senaryo-44				1.0			2.0	1,20 m	1.0	7.3
Senaryo-48				0.5			1		Hareket Yok	0.0

Tablo 4.12 ve Tablo 4.13'de eğimli baş yapılı yüzer cisim için her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık değeri sabit tutularak yüzer cismin hızındaki değişime bağlı olarak meydana gelen askıdaki katı madde miktarları oran olarak karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.12: Her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık değeri sabit tutularak yüzer cismin hızındaki değişime bağlı olarak meydana gelen askıdaki katı madde miktarlarının karşılaştırılması (eğimli baş yapılı yüzer cisim).

Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Yüzer Cismin Uzunluğu (m)	Yüzer Cismin Genişliği (m)	Yüzer Cismin Çekilme Hızı (m/s)	Yüzer Cismin Tabanının Deniz Tabanına Olan Mesafesi (Temiz Açıklık) (m)	Baz Senaryo	Yüzer Cismin Çekilme Hızındaki Değişim (kat)	Temiz Açıklıktaki Değişim (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı Değişimi (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı (kg)
Senaryo-49	Eğimli Baş	15	6	2.0	0.4	Senaryo-57	4.0	Değişim Yok	Tabana Temas Var	-
Senaryo-53				1.5			3.0		6.1	6291.5
Senaryo-57				1.0			2.0	0,40 m	1.0	1031.8
Senaryo-61				0.5			1		Tabana Temas Var	-
Senaryo-50	Eğimli Baş	15	6	2.0	0.8	Senaryo-58	4.0	Değişim Yok	21.6	2963.9
Senaryo-54				1.5			3.0		4.4	608.2
Senaryo-58				1.0			2.0	0,80 m	1.0	137.5
Senaryo-62				0.5			1		Hareket Yok	0.0
Senaryo-51	Eğimli Baş	15	6	2.0	1.0	Senaryo-59	4.0	Değişim Yok	29.8	921.5
Senaryo-55				1.5			3.0		3.1	96.3
Senaryo-59				1.0			2.0	1,00 m	1.0	31.0
Senaryo-63				0.5			1		Hareket Yok	0.0
Senaryo-52	Eğimli Baş	15	6	2.0	1.2	Senaryo-60	4.0	Değişim Yok	88.0	303.6
Senaryo-56				1.5			3.0		27.9	96.3
Senaryo-60				1.0			2.0	1,20 m	1.0	3.4
Senaryo-64				0.5			1		Hareket Yok	0.0
Senaryo-65	Eğimli Baş	15	6.9	2.0	0.4	Senaryo-77	4.0	Değişim Yok	Tabana Temas Var	-
Senaryo-69				1.5			3.0		Tabana Temas Var	-
Senaryo-73				1.0			2.0	0,40 m	31.1	2914.6
Senaryo-77				0.5			1		1	93.6
Senaryo-66	Eğimli Baş	15	6.9	2.0	0.8	Senaryo-78	4.0	Değişim Yok	7862.8	6051.4
Senaryo-70				1.5			3.0		1390.3	1070.0
Senaryo-74				1.0			2.0	0,80 m	211.7	162.9
Senaryo-78				0.5			1		1	0.8

Tablo 4.13: Her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık değeri sabit tutularak yüzer cismin hızındaki değişime bağlı olarak meydana gelen askıdaki katı madde miktarlarının karşılaştırılması (eğimli baş yapılı yüzer cisim).

Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Yüzer Cismin Uzunluğu (m)	Yüzer Cismin Genişliği (m)	Yüzer Cismin Çekilme Hızı (m/s)	Yüzer Cismin Tabanının Deniz Tabanına Olan Mesafesi (Temiz Açıklık) (m)	Baz Senaryo	Yüzer Cismin Çekilme Hızındaki Değişim (kat)	Temiz Açıklıktaki Değişim (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı Değişimi (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı (kg)
Senaryo-67	Eğimli Baş	15	6.9	2.0	1.0	Senaryo-75	4.0	Değişim Yok	25.6	1709.5
Senaryo-71				1.5			3.0		5.4	357.8
Senaryo-75				1.0			2.0	1,00 m	1.0	66.7
Senaryo-79				0.5			1		Hareket Yok	0.0
Senaryo-68	Eğimli Baş	15	6.9	2.0	1.2	Senaryo-76	4.0	Değişim Yok	57.5	521.1
Senaryo-72				1.5			3.0		18.8	170.3
Senaryo-76				1.0			2.0	1,20 m	1.0	9.1
Senaryo-80				0.5			1		Hareket Yok	0.0
Senaryo-81	Eğimli Baş	17.25	6	2.0	0.4	-	4.0	Değişim Yok	Tabana Temas Var	-
Senaryo-85				1.5			3.0		Tabana Temas Var	-
Senaryo-89				1.0			2.0	0,40 m	Tabana Temas Var	-
Senaryo-93				0.5			1		Tabana Temas Var	-
Senaryo-82	Eğimli Baş	17.25	6	2.0	0.8	Senaryo-90	4.0	Değişim Yok	22.5	2966.8
Senaryo-86				1.5			3.0		4.3	570.6
Senaryo-90				1.0			2.0	0,80 m	1.0	131.6
Senaryo-94				0.5			1		Hareket Yok	0.0
Senaryo-83	Eğimli Baş	17.25	6	2.0	1.0	Senaryo-91	4.0	Değişim Yok	32.5	876.7
Senaryo-87				1.5			3.0		8.2	221.8
Senaryo-91				1.0			2.0	1,00 m	1.0	27.0
Senaryo-95				0.5			1		Hareket Yok	0.0
Senaryo-84	Eğimli Baş	17.25	6	2.0	1.2	Senaryo-92	4.0	Değişim Yok	129.8	291.9
Senaryo-88				1.5			3.0		36.3	81.7
Senaryo-92				1.0			2.0	1,20 m	1.0	2.2
Senaryo-96				0.5			1		Hareket Yok	0.0

Tablo 4.14 ve Tablo 4.15'de küt baş yapılı yüzer cisim için her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık ve yüzer cismin çekilme hızı sabit tutulmuş olup yüzer cismin genişliğinin artması ve yüzer cismin boyunun uzaması durumunda meydana gelen askıdaki katı madde miktarları karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.14: Her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık ve yüzer cismin çekilme hızı sabit tutularak cismin genişliğinin artması ve yüzer cismin boyunun uzaması durumunda meydana gelen askıdaki katı madde miktarlarının karşılaştırılması (küt baş yapılı y.c.).

Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Yüzer Cismin Uzunluğu (m)	Yüzer Cismin Genişliği (m)	Yüzer Cismin Çekilme Hızı (m/s)	Yüzer Cismin Tabanının Deniz Tabanına Olan Mesafesi (Temiz Açıklık) (m)	Baz Senaryo	Yüzer Cismin Çekilme Hızındaki Değişim (kat)	Temiz Açıklıktaki Değişim (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı Değişimi (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı (kg)
Senaryo-1	Küt Baş	15	6	2.0	0.4	-	Değişim Yok	Değişim Yok	Tabana Temas Var	-
Senaryo-17		15	6.9				2,0 m/s	0,40 m	Tabana Temas Var	-
Senaryo-33		17.25	6						Tabana Temas Var	-
Senaryo-2	Küt Baş	15	6	2.0	0.8	Senaryo-2	Değişim Yok	Değişim Yok	1.00	7499.74
Senaryo-18		15	6.9				2,0 m/s	0,80 m	1.52	11433.50
Senaryo-34		17.25	6						0.89	6664.38
Senaryo-3	Küt Baş	15	6	2.0	1.0	Senaryo-3	Değişim Yok	Değişim Yok	1.00	2654.19
Senaryo-19		15	6.9				2,0 m/s	1,00 m	1.87	4953.46
Senaryo-35		17.25	6						0.69	1825.49
Senaryo-4	Küt Baş	15	6	2.0	1.2	Senaryo-4	Değişim Yok	Değişim Yok	1.00	763.31
Senaryo-20		15	6.9				2,0 m/s	1,20 m	1.56	1192.39
Senaryo-36		17.25	6						0.96	729.05
Senaryo-5	Küt Baş	15	6	1.5	0.4	Senaryo-5	Değişim Yok	Değişim Yok	1.00	13195.80
Senaryo-21		15	6.9				1,5 m/s	0,40 m	Tabana Temas Var	-
Senaryo-37		17.25	6						0.85	11193.30
Senaryo-6	Küt Baş	15	6	1.5	0.8	Senaryo-6	Değişim Yok	Değişim Yok	1.00	1549.63
Senaryo-22		15	6.9				1,5 m/s	0,80 m	1.71	2648.31
Senaryo-38		17.25	6						0.91	1404.72
Senaryo-7	Küt Baş	15	6	1.5	1.0	Senaryo-7	Değişim Yok	Değişim Yok	1.00	578.79
Senaryo-23		15	6.9				1,5 m/s	1,00 m	1.92	1110.49
Senaryo-39		17.25	6						0.89	515.19
Senaryo-8	Küt Baş	15	6	1.5	1.2	Senaryo-8	Değişim Yok	Değişim Yok	1.00	99.49
Senaryo-24		15	6.9				1,5 m/s	1,20 m	1.76	175.18
Senaryo-40		17.25	6						0.96	95.36

Tablo 4.15: Her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık ve yüzer cismin çekilme hızı sabit tutularak cismin genişliğinin artması ve yüzer cismin boyunun uzaması durumunda meydana gelen askıdaki katı madde miktarlarının karşılaştırılması (küt baş yapılı y.c.).

Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Yüzer Cismin Uzunluğu (m)	Yüzer Cismin Genişliği (m)	Yüzer Cismin Çekilme Hızı (m/s)	Yüzer Cismin Tabanının Deniz Tabanına Olan Mesafesi (Temiz Açıklık) (m)	Baz Senaryo	Yüzer Cismin Çekilme Hızındaki Değişim (kat)	Temiz Açıklıktaki Değişim (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı Değişimi (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı (kg)
Senaryo-9		15	6						1.00	2625.10
Senaryo-25	Küt Baş	15	6.9	1.0	0.4	Senaryo-9	Değişim Yok 1,0 m/s	Değişim Yok 0,40 m	1.41	3706.35
Senaryo-41		17.25	6						0.92	2410.79
Senaryo-10		15	6						1.00	172.28
Senaryo-26	Küt Baş	15	6.9	1.0	0.8	Senaryo-10	Değişim Yok 1,0 m/s	Değişim Yok 0,80 m	1.84	316.70
Senaryo-42		17.25	6						0.79	135.69
Senaryo-11		15	6						1.00	33.12
Senaryo-27	Küt Baş	15	6.9	1.0	1.0	Senaryo-11	Değişim Yok 1,0 m/s	Değişim Yok 1,00 m	1.94	64.37
Senaryo-43		17.25	6						0.98	32.34
Senaryo-12		15	6						1.00	7.81
Senaryo-28	Küt Baş	15	6.9	1.0	1.2	Senaryo-12	Değişim Yok 1,0 m/s	Değişim Yok 1,20 m	2.33	18.16
Senaryo-44		17.25	6						0.93	7.26
Senaryo-13		15	6						1.00	36.93
Senaryo-29	Küt Baş	15	6.9	0.5	0.4	Senaryo-13	Değişim Yok 0,50 m/s	Değişim Yok 0,40 m	1.66	61.45
Senaryo-45		17.25	6						0.95	34.93
Senaryo-14		15	6						1.00	0.22
Senaryo-30	Küt Baş	15	6.9	0.5	0.8	Senaryo-14	Değişim Yok 0,50 m/s	Değişim Yok 0,80 m	6.63	1.48
Senaryo-46		17.25	6						1.08	0.24
Senaryo-15		15	6							0.00
Senaryo-31	Küt Baş	15	6.9	0.5	1.0	-	Değişim Yok 0,50 m/s	Değişim Yok 1,00 m	-	0.00
Senaryo-47		17.25	6							0.00
Senaryo-16		15	6							0.00
Senaryo-32	Küt Baş	15	6.9	0.5	1.2	-	Değişim Yok 0,50 m/s	Değişim Yok 1,20 m	-	0.00
Senaryo-48		17.25	6							0.00

Tablo 4.16 ve Tablo 4.17'de eğimli baş yapılı yüzer cismin için karşılaştırma grubunda temiz açıklık ve yüzer cismin çekilme hızı sabit tutulmuş olup yüzer cismin genişliğinin artması ve yüzer cismin boyunun uzaması durumunda meydana gelen askıdaki katı madde miktarları karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.16: Her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık ve yüzer cismin çekilme hızı sabit tutularak cismin genişliğinin artması ve yüzer cismin boyunun uzaması durumunda meydana gelen askıdaki katı madde miktarlarının karşılaştırılması (eğimli baş yapılı y.c.).

Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Yüzer Cismin Uzunluğu (m)	Yüzer Cismin Genişliği (m)	Yüzer Cismin Çekilme Hızı (m/s)	Yüzer Cismin Tabanının Deniz Tabanına Olan Mesafesi (Temiz Açıklık) (m)	Baz Senaryo	Yüzer Cismin Çekilme Hızındaki Değişim (kat)	Temiz Açıklıktaki Değişim (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı Değişimi (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı (kg)
Senaryo-49		15	6						Tabana Temas Var	-
Senaryo-65	Eğimli Baş	15	6.9	2.0	0.4	-	Değişim Yok 2,0 m/s	Değişim Yok 0,40 m	Tabana Temas Var	-
Senaryo-81		17.25	6						Tabana Temas Var	-
Senaryo-50		15	6						1.00	2963.9
Senaryo-66	Eğimli Baş	15	6.9	2.0	0.8	Senaryo-50	Değişim Yok 2,0 m/s	Değişim Yok 0,80 m	2.04	6051.4
Senaryo-82		17.25	6						1.00	2966.8
Senaryo-51		15	6						1.00	921.5
Senaryo-67	Eğimli Baş	15	6.9	2.0	1.0	Senaryo-51	Değişim Yok 2,0 m/s	Değişim Yok 1,00 m	1.86	1709.5
Senaryo-83		17.25	6						0.95	876.7
Senaryo-52		15	6						1.00	303.6
Senaryo-68	Eğimli Baş	15	6.9	2.0	1.2	Senaryo-52	Değişim Yok 2,0 m/s	Değişim Yok 1,20 m	1.72	521.1
Senaryo-84		17.25	6						0.96	291.9
Senaryo-63		15	6						Hareket Yok	0.0
Senaryo-69	Eğimli Baş	15	6.9	1.5	0.4	-	Değişim Yok 1,5 m/s	Değişim Yok 0,40 m	Tabana Temas Var	-
Senaryo-85		17.25	6						Tabana Temas Var	-
Senaryo-54		15	6						1.00	608.2
Senaryo-70	Eğimli Baş	15	6.9	1.5	0.8	Senaryo-54	Değişim Yok 1,5 m/s	Değişim Yok 0,80 m	1.76	1070.0
Senaryo-86		17.25	6						0.94	570.6
Senaryo-55		15	6						1.00	221.9
Senaryo-71	Eğimli Baş	15	6.9	1.5	1.0	Senaryo-55	Değişim Yok 1,5 m/s	Değişim Yok 1,00 m	1.61	357.8
Senaryo-87		17.25	6						1.00	221.8
Senaryo-56		15	6						1.00	96.3
Senaryo-72	Eğimli Baş	15	6.9	1.5	1.2	Senaryo-56	Değişim Yok 1,5 m/s	Değişim Yok 1,20 m	1.77	170.3
Senaryo-88		17.25	6						0.85	81.7

Tablo 4.17: Her bir karşılaştırma grubunda temiz açıklık ve yüzer cismin çekilme hızı sabit tutularak cismin genişliğinin artması ve yüzer cismin boyunun uzaması durumunda meydana gelen askıdaki katı madde miktarlarının karşılaştırılması (eğimli baş yapılı y.c.).

Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Yüzer Cismin Uzunluğu (m)	Yüzer Cismin Genişliği (m)	Yüzer Cismin Çekilme Hızı (m/s)	Yüzer Cismin Tabanının Deniz Tabanına Olan Mesafesi (Temiz Açıklık) (m)	Baz Senaryo	Yüzer Cismin Çekilme Hızındaki Değişim (kat)	Temiz Açıklıktaki Değişim (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı Değişimi (kat)	Askıdaki Katı Madde Miktarı (kg)
Senaryo-57		15	6						1.00	1031.8
Senaryo-73	Eğimli Baş	15	6.9	1.0	0.4	Senaryo-57	Değişim Yok 1,0 m/s	Değişim Yok 0,40 m	2.82	2914.6
Senaryo-89		17.25	6						Tabana Temas Var	-
Senaryo-58		15	6						1.00	137.5
Senaryo-74	Eğimli Baş	15	6.9	1.0	0.8	Senaryo-58	Değişim Yok 1,0 m/s	Değişim Yok 0,80 m	1.19	162.9
Senaryo-90		17.25	6						0.96	131.6
Senaryo-59		15	6						1.00	31.0
Senaryo-75	Eğimli Baş	15	6.9	1.0	1.0	Senaryo-59	Değişim Yok 1,0 m/s	Değişim Yok 1,00 m	2.15	66.7
Senaryo-91		17.25	6						0.87	27.0
Senaryo-60		15	6						1.00	3.4
Senaryo-76	Eğimli Baş	15	6.9	1.0	1.2	Senaryo-60	Değişim Yok 1,0 m/s	Değişim Yok 1,20 m	2.63	9.1
Senaryo-92		17.25	6						0.65	2.2
Senaryo-61		15	6						Tabana Temas Var	-
Senaryo-77	Eğimli Baş	15	6.9	0.5	0.4	Senaryo-77	Değişim Yok 0,50 m/s	Değişim Yok 0,40 m	1.00	93.6
Senaryo-93		17.25	6						Tabana Temas Var	-
Senaryo-62		15	6						Hareket Yok	0.0
Senaryo-78	Eğimli Baş	15	6.9	0.5	0.8	Senaryo-78	Değişim Yok 0,50 m/s	Değişim Yok 0,80 m	1.00	0.8
Senaryo-94		17.25	6						Hareket Yok	0.0
Senaryo-63		15	6							0.00
Senaryo-79	Eğimli Baş	15	6.9	0.5	1.0	-	Değişim Yok 0,50 m/s	Değişim Yok 1,00 m	-	0.00
Senaryo-95		17.25	6							0.00
Senaryo-64		15	6							0.00
Senaryo-80	Eğimli Baş	15	6.9	0.5	1.2	-	Değişim Yok 0,50 m/s	Değişim Yok 1,20 m	-	0.00
Senaryo-96		17.25	6							0.00

Tablo 4.18'de ise küt ve eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim arasında askıdaki katı madde miktarları açısından bir karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 4.18: Küt ve eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim arasında askıdaki katı madde miktarları açısından karşılaştırma.

Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Askıdaki Katı Madde Miktarı (kg)	Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Askıdaki Katı Madde Miktarı (kg)	Askıdaki Katı Madde Miktarı Değişimi (kat)
Senaryo-1		-	Senaryo-49		-	-
Senaryo-2	Küt Baş	7499.7	Senaryo-50	Eğimli Baş	2963.9	2.5
Senaryo-3		2654.2	Senaryo-51		921.5	2.9
Senaryo-4		763.3	Senaryo-52		303.6	2.5
Senaryo-5		13195.8	Senaryo-53		6291.5	2.1
Senaryo-6	Küt Baş	1549.6	Senaryo-54	Eğimli Baş	608.2	2.5
Senaryo-7		578.8	Senaryo-55		221.9	2.6
Senaryo-8		99.5	Senaryo-56		96.3	1.0
Senaryo-9		2625.1	Senaryo-57		1031.8	2.5
Senaryo-10	Küt Baş	172.3	Senaryo-58	Eğimli Baş	137.5	1.3
Senaryo-11		33.1	Senaryo-59		31.0	1.1
Senaryo-12		7.8	Senaryo-60		3.4	2.3
Senaryo-13		36.9	Senaryo-61		-	-
Senaryo-14	Küt Baş	0.2	Senaryo-62	Eğimli Baş	0.0	7.6
Senaryo-15		0.0	Senaryo-63		0.0	-
Senaryo-16		0.0	Senaryo-64		0.0	-
Senaryo-17		-	Senaryo-65		-	-
Senaryo-18	Küt Baş	11433.5	Senaryo-66	Eğimli Baş	6051.4	1.9
Senaryo-19		4953.5	Senaryo-67		1709.5	2.9
Senaryo-20		1192.4	Senaryo-68		521.1	2.3
Senaryo-21		-	Senaryo-69		-	-
Senaryo-22	Küt Baş	2648.3	Senaryo-70	Eğimli Baş	1070.0	2.5
Senaryo-23		1110.5	Senaryo-71		357.8	3.1
Senaryo-24		175.2	Senaryo-72		170.3	1.0

Tablo 4.198 (devam)

Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Askıdaki Katı Madde Miktarı (kg)	Senaryo	Yüzer Cismin Baş Yapısı	Askıdaki Katı Madde Miktarı (kg)	Askıdaki Katı Madde Miktarı Değişimi (kat)
Senaryo-25	Küt Baş	3706.4	Senaryo-73	Eğimli Baş	2914.6	1.3
Senaryo-26		316.7	Senaryo-74		162.9	1.9
Senaryo-27		64.4	Senaryo-75		66.7	1.0
Senaryo-28		18.2	Senaryo-76		9.1	2.0
Senaryo-29	Küt Baş	61.4	Senaryo-77	Eğimli Baş	93.6	0.7
Senaryo-30		1.5	Senaryo-78		0.8	1.9
Senaryo-31		0.0	Senaryo-79		0.0	-
Senaryo-32		0.0	Senaryo-80		0.0	-
Senaryo-33	Küt Baş	-	Senaryo-81	Eğimli Baş	-	-
Senaryo-34		6664.4	Senaryo-82		2966.8	2.2
Senaryo-35		1825.5	Senaryo-83		876.7	2.1
Senaryo-36		729.1	Senaryo-84		291.9	2.5
Senaryo-37	Küt Baş	11193.3	Senaryo-85	Eğimli Baş	-	-
Senaryo-38		1404.7	Senaryo-86		570.6	2.5
Senaryo-39		515.2	Senaryo-87		221.8	2.3
Senaryo-40		95.4	Senaryo-88		81.7	1.2
Senaryo-41	Küt Baş	2410.8	Senaryo-89	Eğimli Baş	-	-
Senaryo-42		135.7	Senaryo-90		131.6	1.0
Senaryo-43		32.3	Senaryo-91		27.0	1.2
Senaryo-44		7.3	Senaryo-92		2.2	3.2
Senaryo-45	Küt Baş	34.9	Senaryo-93	Eğimli Baş	-	-
Senaryo-46		0.2	Senaryo-94		0.0	5.0
Senaryo-47		0.0	Senaryo-95		0.0	-
Senaryo-48		0.0	Senaryo-96		0.0	-

5. SONUÇLAR

Düz bir deniz tabanında seyreden motorsuz yüzer bir cismin meydana getirdiği hidrodinamik etkilerin ve bu hidrodinamik etkilere bağlı denizel ortamda meydana gelen morfolojik değişimlerin belirlenmesi amacıyla ile yürütülen bu doktora tezi çalışmaları neticesinde aşağıda özetle verilen sonuçlara varılmıştır:

- Yüzer cisim (mavna) hidrodinamiği üzerine gerçekleştirilen çalışmalar taranarak literatür araştırması gerçekleştirilmiş, elde edilen bilgiler sonucunda ilgili fiziğin anlaşılması sağlanmıştır. Ayrıca ilgili fiziğin hangi parametrelere ve koşullara bağlı olabileceği üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

- Araştırması gerçekleştirilecek çalışmalara ait koşulların belirlenmesi için bir dizi ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Buna göre ilk aşamada, ilgili fiziğin hangi modelleme yöntemi ve modelleme aracı ile gerçekleştirileceği, hangi Senaryolar üzerinde durulacağı belirlenmiştir.

- Sayısal çalışmaların gerçekleştirileceği yazılım belirlendikten sonra ilgili senaryolarda kullanılacak olan yüzer cismin boyutlarının ve tipinin belirlenmesi işlemine başlanılmıştır. Buna göre yüzer cisim boyutları açısından bir literatür taraması gerçekleştirilmiş ve 40 farklı yüzer cisim için uzunluk/derinlik, genişlik/ derinlik ve uzunluk/genişlik oranları çıkarılmıştır. Yüzer cisim boyutlarının seçimi, çalışma alanı büyüklüğü ve grid boyut optimizasyonu ile bağlantılı olduğundan mümkün olduğunca küçük boyutlarda fakat ilgili etkilerin yakalanabileceği büyüklükte bir yüzer cisim seçimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca model senaryoları içerisinde yüzer cisim tip ve boyutlarının değişimi bir parametre olarak göz önüne alınmıştır. Yüzer cismin baş yapısı küt ve eğimli olmak üzere iki farklı şekilde oluşturulmuştur.

- Çalışma alanının seçimi, doktora tezi kapsamında incelenecek parametrelerin gözlemlenmesine olanak sağlayacak zaman aralığını kapsayacak büyüklükte, incelenecek parametrelerin gözlemlendiği gözlem alanı, model sınırlarında sınır koşullarına bağlı meydana gelebilecek olası etkilerden etkilenmeyecek boyutlarda ve yüzer cismin çekilme hızına bağlı olarak ivmelenme süreleri ve belirli süre sabit

hızla çekilme süreleri de göz önüne alınarak seçilmiştir. Buna göre çalışma alanı uzunluğu 100 m olarak belirlenmiştir.

- Çalışma alanının genişliğinin belirlenmesi amacıyla dört farklı genişliğe sahip dört farklı sayısal model oluşturularak çalışma alanı genişliğinin hidrodinamik ve hidromorfolojik sonuçlara etkileri incelenmiştir. 28 m'den daha dar seçilen çalışma alanlarında yüzer cisim kaynaklı meydana gelen hidrodinamik etkiler model sınırları ile etkileşim içine girdiğinden çalışma alanı genişliğinin model çalışma süreleri de göz önüne alınarak 28 m olarak seçilmesine karar verilmiştir.

- Hesaplama grid boyutların belirlenmesindeki en önemli etken, incelenmesi ve araştırılması yapılacak fiziğin sağlıklı bir şekilde temsil edilmesini sağlayabilecek nitelik ve boyutlara sahip olmasıdır. Bu noktada, grid boyutlarının belirlenmesi amacıyla bir dizi çalışma gerçekleştirilmiş, nihai olarak grid boyutlarının tüm çalışma alanında aynı olacak şekilde göz önüne alınması ve taban yakınındaki ilgili fiziğin yakalanabilmesi amacıyla bu bölgede grid boyutlarının sıklaştırılarak 0,0375 m değerine indirildiği bir grid yapısı belirlenmiştir. Buna göre taban yakınında 0,0375 m, deniz yüzeyinde 0,15 m boyutlarında değişken büyüklüklere sahip bir grid yapısı oluşturulmuştur.

- Bu doktora tezi kapsamında göz önüne alınan sayısal model çalışmalarında atmosferik basınç haricinde çalışma alanına etkiyen herhangi bir dış kuvvet bulunmadığından, minimum Z-Eksenindeki sınırda "duvar" sınır koşulu, maksimum Z-Eksenindeki sınırda ise "atmosferik basınç" sınır koşulu, minimum ve maksimum Y-Eksenindeki sınırlarda "simetri" sınır koşulu, minimum ve maksimum X-Eksinindeki sınırlarda ise "çıkış (outflow)" sınır koşulları tanımlanmıştır.

- Çalışmalarda göz önüne alınan katı maddelerin medyan dane çapı tüm alanda aynı olacak şekilde 0,0625 mm, özgül ağırlığı 2650 kg/m^3, taban yük taşınım katsayısı 0,06 ve sürükleme katsayısı 0,018 olarak göz önüne alınmıştır. Kritik Shields parametresi her bir hesap adımında Soulsby-Whitehouse (1997) formülü kullanılarak hesaplanmaktadır. Katı madde taşınım formülü olarak Van Rijn Taşınım Denklemi kullanılmıştır.

- Tüm senaryolarda aynı olacak şekilde yüzer cisim “X” ekseni boyunca çekilmektedir. Yüzer cismin “Y” ekseni boyunca ötelenmesi ve “Z” ekseni boyunca yapacağı dönme hareketi kısıtlanmış, diğer yönlerdeki hareket ve dönmeleri serbest bırakılmıştır.

- Yüzer cismin boyutları, şekli, hızı ve tabana olan mesafeleri göz önüne alınarak 96 farklı senaryo oluşturulmuştur. Bunlardan 48 senaryo baş yapısı küt olan yüzer cisim diğer 48 senaryo ise baş yapısı eğimli olan yüzer cisim için oluşturulmuştur. Yüzer cismin tabanının deniz tabanına olan uzaklığını ayarlamak amacıyla yüzer cismin yoğunlukları değiştirilmiş, tüm senaryolarda ivmeler aynı tutularak ivmelenmeye bağlı model sonuç farklılıkları giderilmiştir. Model süreleri, yüzer cismin çekilme hızlarına bağlı olarak 100 m uzunluğundaki model çalışma alanına göre belirlenmiştir.

- Gerçekleştirilen tüm çalışmalar neticesinde, yüzer cismin tabana olan mesafesinden (temiz açıklık) bağımsız olarak çekilme hızının en yüksek (2 m/s) olduğu durumda çökme (squat) etkisinin en yüksek olduğu, çekilme hızlarının düşmesi ile çökme etkisinin azaldığı belirlenmiştir. Yüzer cismin deniz tabanına en yakın olduğu yani temiz açıklığın en az olduğu durumda çökme etkisinin daha fazla arttığı, temiz açıklık arttıkça bu etkinin azaldığı gözlemlenmiştir. Yüzer cismin altında meydana gelen en yüksek akım hızının, yüzer cismin baş kısmının altında meydana geldiği ve akım hızlarının baş kısmından kıç kısmına doğru ilerledikçe düştüğü tespit edilmiştir.

- Yüzer cismin çekilme hızının en yüksek olduğu 2 m/s değerinde tabanda meydana gelen kayma hızlarının yüzer cismin çekilme hızının daha düşük olduğu senaryolara oranla daha yüksek olduğu, özellikle en yüksek kayma hızlarının yüzer cismin baş kısmının altı ve çevresinde meydana geldiği gözlemlenmektedir. Bu duruma bağlı olarak tabandaki oyulmaların özellikle baş kısmının altında meydana geldiği ve askıya kalkan katı maddenin özellikle bu bölgede daha yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir.

- Yüzer cismin genişliğinin arttırıldığı senaryolarda, genişliğin arttırılmadığı senaryolara oranla tüm alanda meydana gelen akım hızlarında artış meydana geldiği, yüzer cisim altında meydana gelen akım hızlarının ise çekilme hızının en yüksek olduğu senaryolarda yaklaşık olarak %50 arttığı, çekilme hızı düştükçe akım hızlarındaki artış oranının azaldığı gözlemlenmiştir. Yüzer cismin genişlemesi durumunda baş yapısından bağımsız olarak yüzer cismin önünde genişlememiş duruma nazaran daha fazla miktarda su itildiği, bu bölgedeki su seviyesinin genişliği değiştirilmediği senaryoya oranla daha yüksek olduğu ve bu duruma bağlı olarak yüksek basıncın olduğu yüzer cismin baş kısmından, düşük basıncın olduğu yüzer cismin altına doğru yüksek miktarlarda suyun hareket ettiği ve bu duruma bağlı olarak geri dönüş akım hızlarının daha yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir.

- Yüzer cismin genişliğinin arttırıldığı senaryolarda, genişliğin değiştirilmediği senaryolara göre tabanda meydana gelen kayma hızlarının ve akım hızlarının arttığı, bu duruma bağlı olarak oyulma ve askıya kalkan katı madde miktarlarının yükseldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca askıya kalkan katı maddenin yüzer cisim genişliğinin değiştirilmediği senaryoya oranla daha fazla alana yayıldığı belirlenmiştir.

- Yüzer cismin boyunun artması durumunda ise boyunun arttırılmadığı duruma göre akım hızları ve yönler açısından çok küçük farklılıkların meydana geldiği, akım hızlarının hemen hemen tüm alanda benzer büyüklükler gösterdiği, sadece yüzer cismin baş kısmından kıç kısmına doğru gidildikçe yüzer cisim altındaki akım hızlarının yüzer cisim uzunluğunun arttırılmadığı senaryolara oranla daha fazla düştüğü gözlemlenmektedir.

- Yüzer cismin boyunun arttırıldığı senaryolar ile boyunun arttırılmadığı senaryolar karşılaştırıldığında tabandaki kayma ve akım hızlarının hemen hemen aynı kaldığı, buna bağlı olarak oyulma ve askıya kalkan katı madde miktarlarının ve yayılma alanlarının da aynı düzeyde kaldığı gözlemlenmiştir.

- Eğimli baş yapısına sahip yüzer cisme ait model sonuçları incelendiğinde küt baş yapılı yüzer cisme ait akım paterni açısından benzerlik gösterdiği fakat çalışma alanı genelinde akım hızlarında düşüşlerin meydana geldiği gözlemlenmektedir. Ayrıca

eğimli baş yapısına sahip yüzer cismin tabanda meydana getirdiği oyulma değerleri ve askıya kalkan katı madde miktarlarının, baş yapısı düz olan yüzer cisme oranla daha düşük değerler aldığı gözlemlenmektedir. Hem akım hızları, hem tabanda meydana gelen kayma gerilmeleri hem de katı madde miktarları açısından meydana gelen bu farklılık yüzer cismin çekilme hızı ve tabana olan mesafesi ile değişmekle birlikte küt baş yapısından dolayı yüzer cismin önünde daha fazla miktarda suyun itilmesi, bu nedenle anlık olarak baş kısmındaki potansiyel enerjinin baş yapısı eğimli olan yüzer cisme oranla daha yüksek olması ve bu duruma bağlı olarak yüzer cismin altında meydana gelen geri dönüş akımlarının yüksek değerlere ulaşması ile meydana gelmektedir.

- Küt baş yapısına sahip model sonuçlarında, yüzer cismin genişlemesi durumu ile genişlemenin olmadığı sonuçlar karşılaştırıldığında modelleme sonundaki askıdaki katı madde miktarlarındaki artışın 1,41~1,94 kat arasında değiştiği ortalama olarak 1,72 kat daha fazla askıya katı maddenin kalktığı gözlemlenmiştir. Bu durumun eğimli baş yapısına sahip yüzer cisimde ise ortalama olarak 1,88 değerine ulaştığı belirlenmiştir. Buna göre eğimli baş yapısına sahip yüzer cisim genişlik değişimine küt baş yapılı yüzer cisme oranla daha hassas bir konumdadır.

- Küt baş yapısına sahip model sonuçlarına göre, yüzer cismin uzunluğunun arttırılması durumu ile uzunluğun aynı kaldığı durumdaki sonuçlar karşılaştırıldığında modelleme sonundaki askıdaki katı madde miktarlarının 0,69~0,98 kat arasında değişecek şekilde ortalama 0,89 kat daha az askıya kalktığı gözlemlenmiştir. Bu durumun eğimli baş yapısına sahip yüzer cisimde ise ortalama olarak 0,93 değerine ulaştığı belirlenmiştir.

- Eğimli baş yapısına sahip yüzer cismin genişliğinin artması, küt baş yapılı yüzer cismin genişliğinin artmasına oranla askıya kaldırdığı katı madde miktarları açısından daha etkili olmaktayken bu durum yüzer cismin uzunluğunun değişmesi durumunda tam tersine dönmektedir. Yani küt baş yapısına sahip yüzer cismin uzunluğunun artması, eğimli baş yapılı yüzer cismin uzunluğunun artmasına oranla askıya kaldırdığı katı madde miktarları açısından daha etkili olmaktadır. Bu durum

küt ve eğimli baş yapısına sahip senaryolar kendi içlerinde değerlendirildiği zaman geçerli olup eğimli baş yapısına sahip yüzer cismin askıya kaldırdığı katı madde miktarı tüm senaryolarda küt baş yapılı yüzer cisme oranla daha düşüktür.

- Baş yapısından bağımsız olarak tüm parametreler arasında hidrodinamik ve morfolojik durumları etkileyen en önemli ve hassas parametre yüzer cismin çekilme hızıdır. Çekilme hızı arttıkça çökme etkisi ile yüzer cisim tabana daha fazla yaklaşmakta ve buna bağlı olarak akım hızları ve katı madde hareketleri artmakta, çekilme hızı düştükçe bu etkiler azalmaktadır. Çekilme hızından sonra en önemli parametre yüzer cismin temiz açıklığıdır. Yüzer cismin temiz açıklığı azaldıkça hidrodinamik ve morfolojik etkiler artmakta, temiz açıklık arttıkça bu etkiler azalmaktadır.

- Göz önüne alınan tüm senaryolarda modelleme zamanı sonunda meydana gelen askıdaki katı madde miktarları elde edilerek tablolar haline getirilmiş, farklı tablolarda yüzer cismin farklı özelliklerine bağlı olarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Buna göre baş kısmı küt olan yüzer cismin meydana getirdiği askıdaki katı madde miktarları baş kısmı eğimli olan yüzer cismin meydana getirdiği miktarlara oranla 1,1~3,2 kat arasında değişmekle birlikte ortalama 1,95 kat daha fazla olmaktadır.

Yüzer bir cismin düz bir deniz tabanında meydana getirdiği hidrodinamik ve morfolojik etkiler, yüzer cisim çekilme hızı, yüzer cismin baş geometrisi, yüzer cismin temiz açıklığı ve deniz tabanındaki katı madde özelliklerine bağlı olarak HAD yardımıyla 96 farklı senaryo ile incelenmiş, elde edilen değerler ışığında özellikle kapalı koylar, kanallar ve nehirlerde ileriye dönük tahmin edilen oyulma/birikme miktarları ve katı madde konsantrasyonlarının belirlenmesinde tasarımcıların fikir edinmesine yardımcı olunabilmesi hedeflenmiş ve bu konu hakkında elde edilen bilgiler paylaşılmıştır. Buna göre özetle, katı madde hareketi açısından yüzer cismin baş geometrisinin en önemli parametre olduğu, ikincil parametre olarak yüzer cismin hızı ve üçüncül parametre olarak tabana olan uzaklığının tasarımcılar açısından ileriye dönük katı madde hareketi tahmini aşamalarında göz önüne alınmasının önem taşıdığı belirlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

Almström, B. and Larson M. (2020). Measurements and analysis of primary ship waves in the Stockholm Archipelago, Sweden. *Journal of Marine Science and Engineering, 8(10),743.*

Bauer, B.O., Lorang M. S. and Sherman D. J. (2002). Estimating boat-wake-induced levee erosion using sediment suspension measurements. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, *128 (4),* 152–162.

Bhowmik N. G., (1981). *Waves and Drawdown Generated by River Traffic on the Illinois and Mississippi Rivers*. State Water Survey Division, Surface Water Section at the University of Illinois.

Bouwmeester, J., Kaa, E.J. van de, Nuhoff, H.A. and Orden, R.G.J. van, (1977). *Recent studies on push-towing as a base for dimensioning waterways,* Delft Hydraulics Laboratory, Delft.

Briggs, M. J., Vantorre, M., Uliczka, K., & Debaillon, P. (2009). Prediction of Squat for Underkeel Clearance. In Young C. Kim (Ed.), *Handbook of Coastal and Ocean Engineering* (pp. 723–774), World Scientific.

CIRIA, CUR, CETMEF (2007). *The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering* (2nd edition). C683, CIRIA, London

Dand, I. W., and White, W. R. (1978). Design of navigation canals. *2nd Symposium, Aspects of Navigability of Constraint Waterways, Including Harbour Entrances* (pp. 1-9), Delft, Netherlands,

Das, S. N., Das, S. K. and Kariya J. S. (2012). Simulation of return flow in restricted navigation channel for barge-tow movements. *The Open Ocean Engineering Journal, 5 (1),* 34–46.

Delft Hydraulics (1987). Erosion of cross-sections of navigation channels: systematic test serie of water motions by three different types of inland navigation vessels (in Dutch), report model research M1115 part 4, Delft Hydraulics Laboratory, Delft.

Duró, G., Crosato, A., Kleinhans, M. G., Roelvink, D., and Uijttewaal, W. S. J. (2020). Bank erosion processes in regulated navigable rivers. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 125 (7),* 1-26.

Elkiki, M., Sheshtawt, A., Balah, M. and Kitamura, E. (2009). Experimental study on effect of channel side slope on ship return velocity in narrow navigation channels. *Egyptian International Journal of Engineering Sciences and Technology,12 (1),* 1-10.

Eriksson, B. K., Sandström, A., Isæus, M., Schreiber, H., and Karås, P. (2004). Effects of boating activities on aquatic vegetation in the Stockholm archipelago, Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 61 (2),* 339–349.

Flow-3D Hydro, (2022). *User Manual*, Version 2022R1.

Flow-3D Hydro Webinar-1, (2022). *Advanced Free Surface Flow Modeling.*

Flow-3D Hydro Webinar-2, (2022). *Free Surface Flow Modeling.*

Gelencser, G. (1977). Drawdown surge and slope protection, experimental results. *Proceedings of the 24th International Navigation Congress* (pp. 21–41), Leningrad, Russia. Permanent International Association of Navigation Congress, Brussles, Belgium.

Göransson, G., Larson, M., & Althage, J. (2014). Ship-generated waves and ınduced turbidity in the Göta Älv River in Sweden. *In Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 140 (3), American Society of Civil Engineers (ASCE).

Havelock, T. H. (1908). The propagation of groups of waves in dispersive media with application to waves on water produced by a travelling disturbance. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character, 81 (549),* 398-430.

Hirt, C. W., & Nichols, B. D. (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics, 39 (1),* 201–225.

Hochstein, A. (1967). *Navigation use of industrial canals; Water Transportation, Moscow.* Publishing House: Moscow, Russia.

Houser, C. (2011). Sediment resuspension by vessel-generated waves along the Savannah River, Georgia. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 137 (5)*, 246–257.

Jansen, P.P. and Schijf, J.B. (1953). Paper presented at the XVIIIth International PIANC Congress, 18th International PIANC Congress, Rome, Italy.

Ji, S., Ouahsıne, A., Smaouı, H., & Sergent, P. (2014). 3D Modeling of sediment movement by ships-generated wakes in confined shipping channel. *International Journal of Sediment Research, 29 (1),* 49–58.

Ji, S., Ouahsine, A., Smaoui, H., & Sergent, P. (2014). 3D Numerical Modeling of sediment resuspension ınduced by the compounding effects of ship-generated waves and the ship propeller. *Journal of Engineering Mechanics, 140 (6),* 04014034, 1-10.

Kalender, E., O. (2011). *Yüksek hızlı teknelerde denizcilik performans analizi* (Yüksek Lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 307049).

Kriebel, D. L., Seelig, W. N. and Judge, C., (2003). A unified description of shipgenerated waves. *Proceedings of U.S. Section PIANC Annual Meeting*, PIANC.

Kuhn, R. (1985). *Binnenverkehrswasserbau*, Ernst, Berlin.

Kurdistani, S. M., Tomasicchio, G. R., D'Alessandro, F. and Hassanabadi, L., (2019). River bank protection from ship-induced waves and river flow. *Water Science and Engineering,* 12, 2, 129-135.

Larson, M., Almström, B., Göransson, G., Hanson, H., and Danielsson, P. (2017). Sediment movement induced by ship-generated waves in restricted waterways. *Coastal Dynamics*, 120.

Lenselink, R., J. (2011). *Interaction between loaded barges and bed material* (MSc. Thesis). Delft University of Technology, Delft.

Lundbladh, A. and Johansson, A. V. (1991). Direct simulation of turbulent spots in plane Couette flow. *Journal of Fluid Mechanics, 229,* 499–516.

Maguire, A. E. (2011). *Hydrodynamics Control and Numerical Modelling of Absorbing Wavemakers* (PhD. Thesis). The University of Edinburgh.

Mao, L., Chen, Y., & Li, X. (2020). Characterizing ship-induced hydrodynamics in a heavy shipping traffic waterway via intensified field measurements. *Water Science and Engineering, 13 (4),* 329–338.

Mao, L., & Chen, Y. (2020). Investigation of Ship-ınduced hydrodynamics and sediment suspension in a heavy shipping traffic waterway. *Journal of Marine Science and Engineering, 8, (6),* p. 424.

Mao, L., & Chen, Y. (2022). Response of bed morphology of a navigable channel driven by ship waves: Laboratory experiments and numerical modeling. *Arabian Journal of Geosciences,* 15, 1568.

Mastbergen, D. R., & Van Den Berg, J. H. (2003). Breaching in fine sands and the generation of sustained turbidity currents in submarine canyons. *Sedimentology*, 50 (4), 625–637.

Maynord, S.T., (1990). *Velocities induced by commercial navigation*. Department of the Army Corps of Engineers, Technical report HL-90-15, Louisville, USA

McConchie, J. A. and Toleman, I. E. J. (2003). Boat wakes as a cause of riverbank erosion: A case study from the Waikato River, New Zealand. *Journal of Hydrology (New Zealand), 42,* 163–179.

Nanson, G. C., Von Krusenstierna, A., Bryant, E. A., & Renilson, M. R. (1994). Experimental measurements of river-bank erosion caused by boat-generated waves on the Gordon river, Tasmania. *Regulated Rivers: Research and Management, 9 (1),* 1–14.

Osborne, P.D., and Boak, E.H. (1999). Sediment Suspension and Morphological Response under Vessel-Generated Wave Groups: Torpedo Bay, Auckland, New Zealand. *Journal of Coastal Research*, 15, 388-398.

Parchure, T.M., McAnally W.H. and Teeter A.M. (2001a). Desktop method for estimate vessel-induced sediment suspension. *Journal of Hydraulic Engineering, 127 (7),* 577-587.

PIANC , (2003). *International Navigation Association, Guidelines for managing wake wash from high-speed vessels*. Report of Working Group 41 of the Maritime Navigation Commission.

PIANC, (2014). *Maritime navigation commission. Harbour approach channels design guidelines.* PIANC report 121.

Rapaglia, J., Zaggia, L., Ricklefs, K., Gelinas, M., & Bokuniewicz, H. (2011). Characteristics of ships' depression waves and associated sediment resuspension in Venice Lagoon, Italy. *Journal of Marine Systems, 85 (1–2),* 45–56.

Ravens, T. M. (1997). *Sediment resuspension in Boston harbor* (PhD Thesis). Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA.

Ravens, T. M., & Thomas, R. C. (2008). Ship wave-induced sedimentation of a tidal creek in Galveston Bay. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 134 (1),* 21–29).

Reichardt, H. (1956). *Uber die Geschwindigkeitsverteilung in einer geradliningen turbulenten Couettestromung.* 2. Angew. Math. Mech. 36, 526.

Robijns, T. (2014). *Flow beneath inland navigation vessels* (MSc. Thesis). Delft University of Technology.

Rodrguez, J. F., Admiraal, D. M., López, F., and Garca, M. H. (2002). Unsteady bed shear stresses induced by navigation: Laboratory observations. *Journal of Hydraulic Engineering, 128 (5),* 515–526.

Römisch, K., Führer (1977). Section I – Inland Navigation, Subject 3. PIANC Congress, Leningrad, Russia, pg. 80.

Safak, I., Angelini, C., and Sheremet, A. (2021). Boat wake effects on sediment transport in intertidal waterways. *In Continental Shelf Research*, 222, (p. 104422).

Schijf, J. B., (1949). Paper presented at the XVIIth International PIANC Congress, 17th International PIANC Congress, Lisbon, Portugal.

Schlichting, H. and Gersten, K. (2017). *Boundary-Layer Theory.* Springer.

Schiereck, G.J. (2001). *Introduction to bed, bank and shore protection.* Delft University Press, Delft, The Netherlands. 397p., ISBN 90-407-1683-8

Schroevers, M., Huisman, B. J. A., van der Wal, M., and Terwindt, J. (2011). *Measuring ship induced waves and currents on a tidal flat in the Western Scheldt estuary.*

IEEE/OES 10th Current, Waves and Turbulence Measurements (CWTM). https://doi.org/10.1109/cwtm.2011.5759539

Soulsby, R. (1997). Bedload transport. *Dynamics of Marine Sand*. Thomas Telford Publications, London.

Stolker, C. and Verheij, H. J., (2006). *Ship-induced water motions beneath the ship's hull,* 31th International Navigation Congress PIANC, Estoril, Portugal.

Tillmark, N., & Alfredsson, P. H. (1992). Experiments on transition in plane Couette flow. *Journal of Fluid Mechanics, 235 (1)*, 89.

Tuck, E. O. (1966). Shallow-water flows past slender bodies. *Journal of Fluid Mechanics*, *26*, 81−95

Ulm, M., Niehüser, S., Kondziella, B., Arns, A., Jensen, J., & Uliczka, K. (2020). Field measurements in the Kiel Canal, Germany: Ship waves, drawdown, and sediment transport. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 146, (4),* 04020020-1-11.

UNCTAD Review of Maritime Transport Report, 2021, https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2021_en_0.pdf

Varela, J. M., (2011*).* Interactive simulation of ship motion in random seas based on real wave spectra. *International Conference on Computer Graphics Theory and Applications*, (pp. 235-244), Portugal.

Velioğlu, D. (2017). Advanced *two-and three-dimensional tsunami models: Benchmarking and validation.* Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 475004).

Verheij, H.J., Stolker, C., and Groenveld, R. (2008). *Inland waterways, Lecture notes*, TU Delft

Wilcox, D. C. (1998). *Turbulence Modeling for CFD.* DCW Industries, Inc,. URL: http://books.google.com/books/?id=VwlRAAAAMAAJ

Yakhot, V. and Orszagi S. A. (1986). Renormalization group analysis of turbulence I. basic theory. *Journal of Scientific Computing, 1 (1),* 3–51.

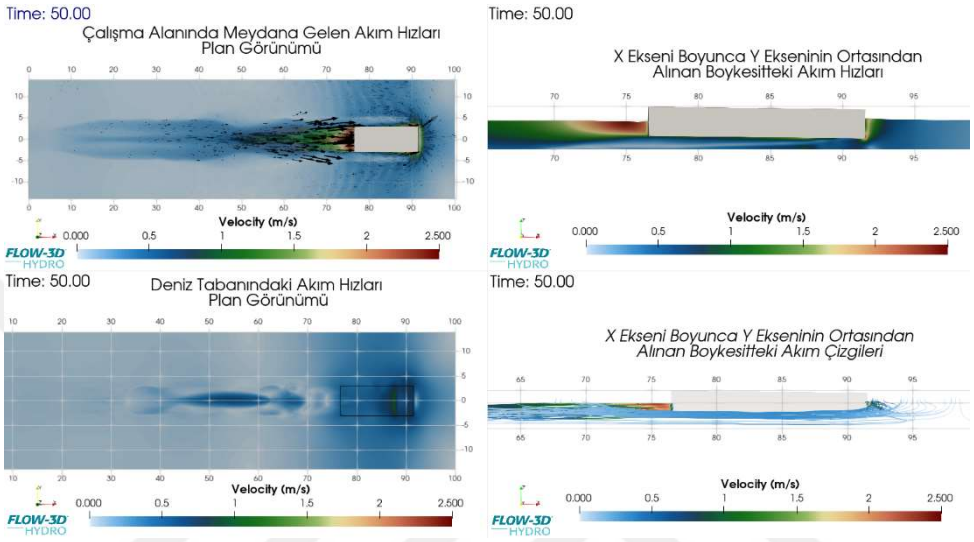
Yakhot, V. and Smith, L. M. (1992). The renormalization group, the e-expansion and derivation of turbulence models. *Journal of Scientific Computing, 7 (1),* 35–61.

Zaggia, L., Lorenzetti, G., Manfé, G., Scarpa, G. M., Molinaroli, E., Parnell, K. E., Rapaglia, J. P., Gionta, M., and Soomere, T. (2017). Fast shoreline erosion induced by ship wakes in a coastal lagoon: Field evidence and remote sensing analysis. *PLoS ONE 12 (10),* pp. e0187210.

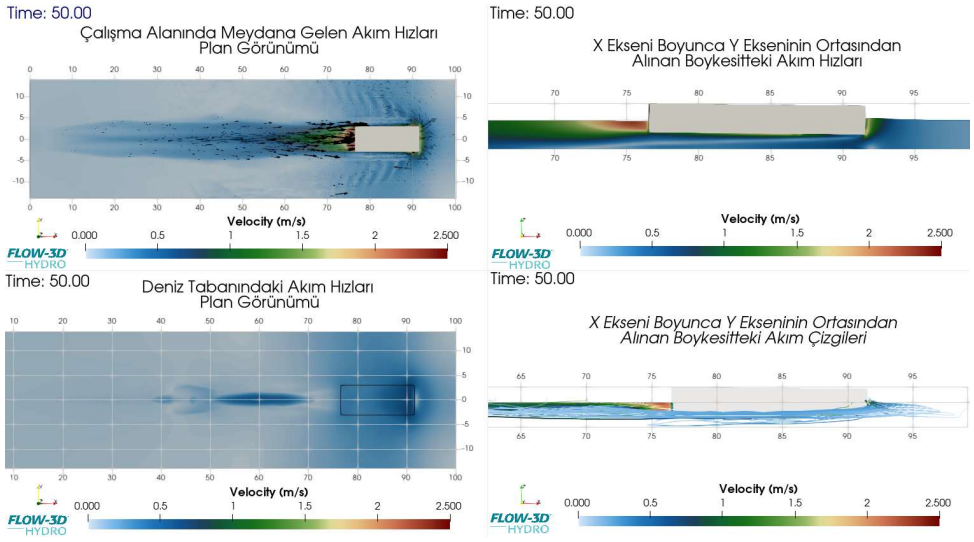
EKLER

EKLER

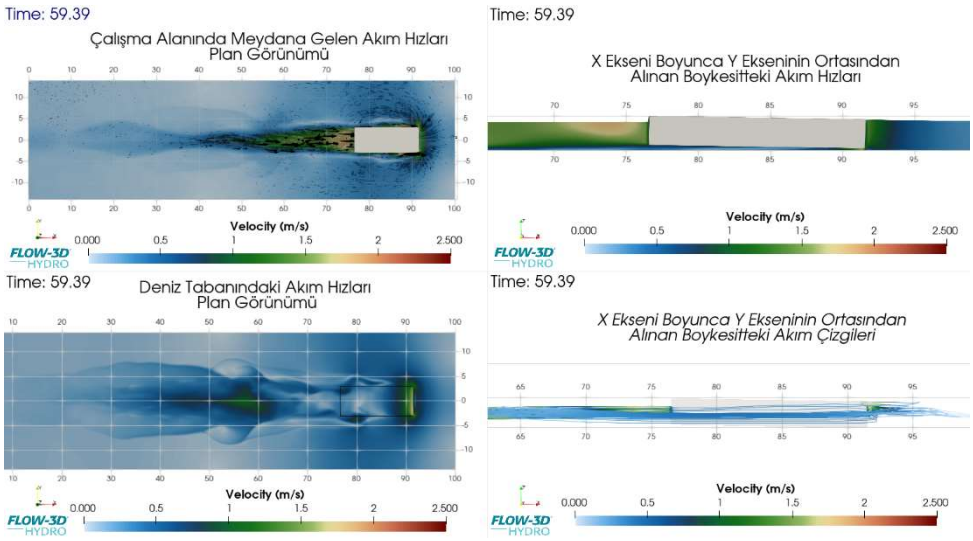
EK A: Plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönlerinin gösterildiği model sonuçlarının devamı.



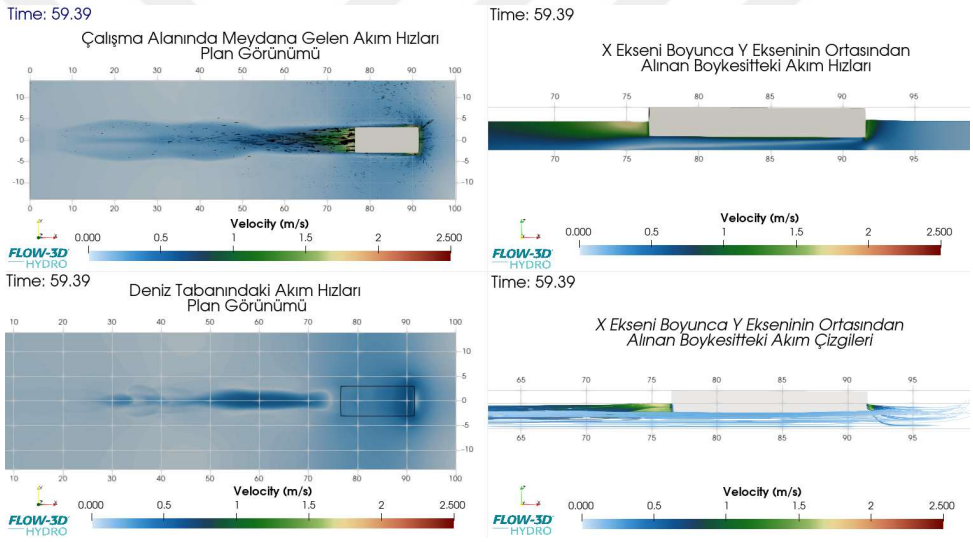
Şekil A. 1: Senaryo-3 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



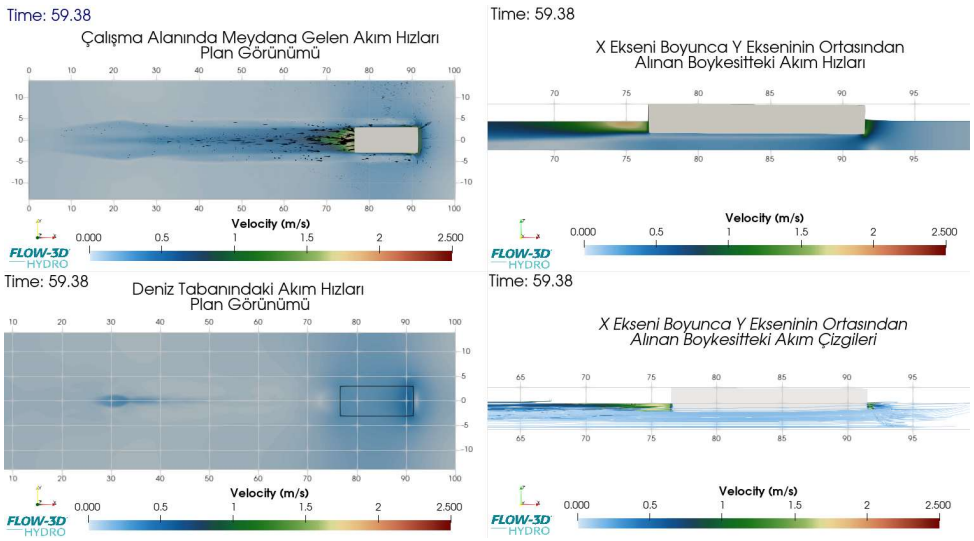
Şekil A. 2: Senaryo-4 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



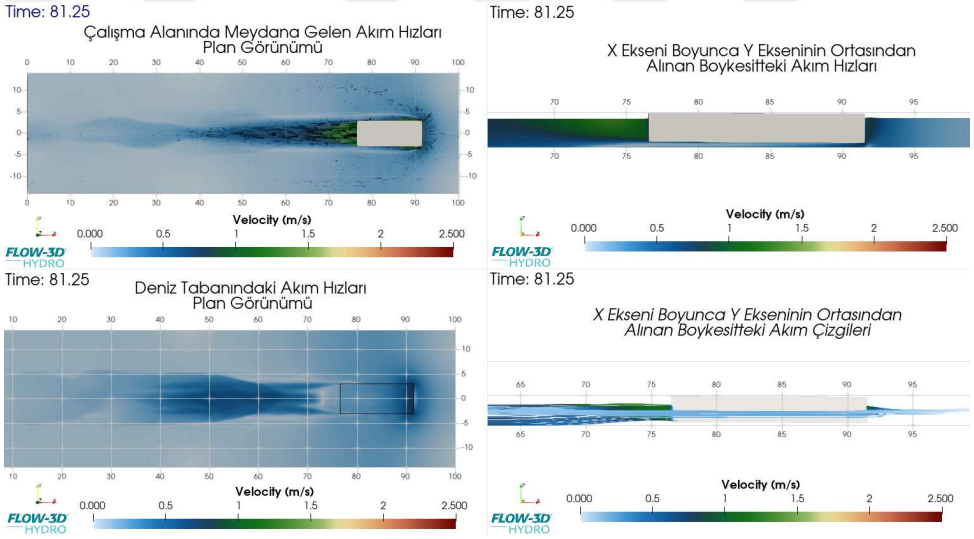
Şekil A. 3: Senaryo-5 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



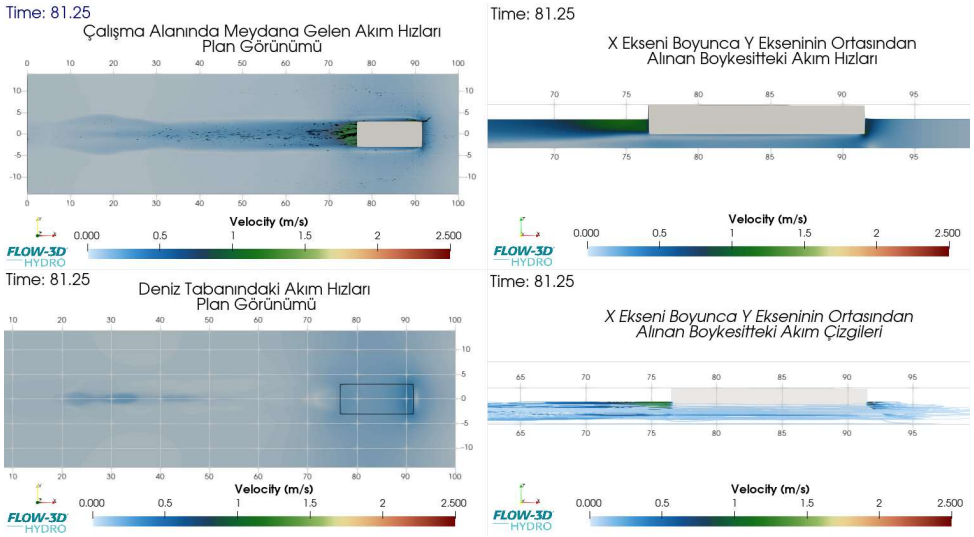
Şekil A. 4: Senaryo-7 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



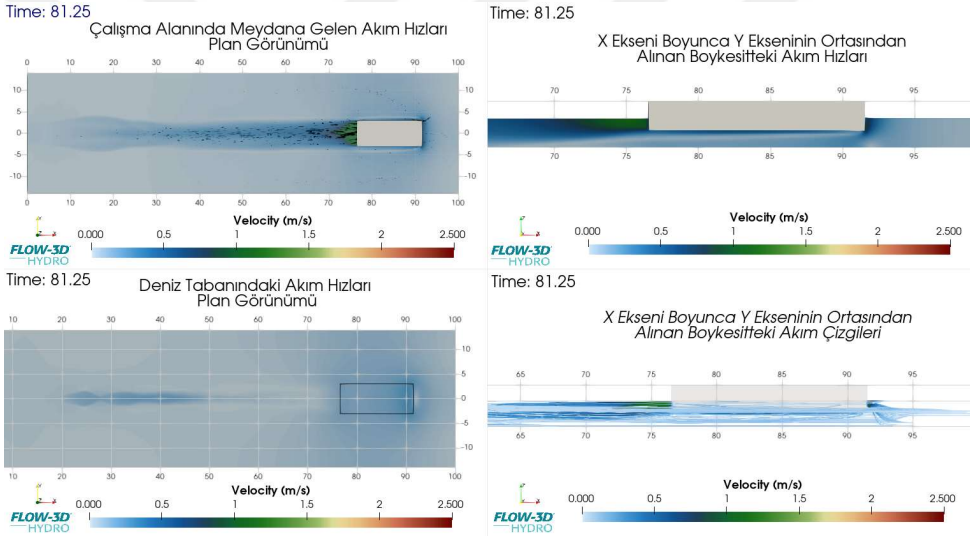
Şekil A. 5: Senaryo-8 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



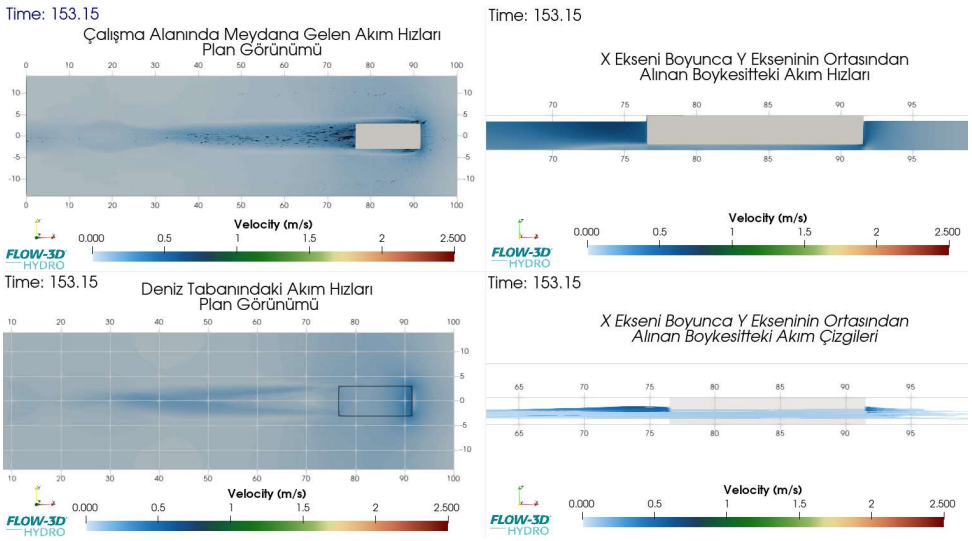
Şekil A. 6: Senaryo-9 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



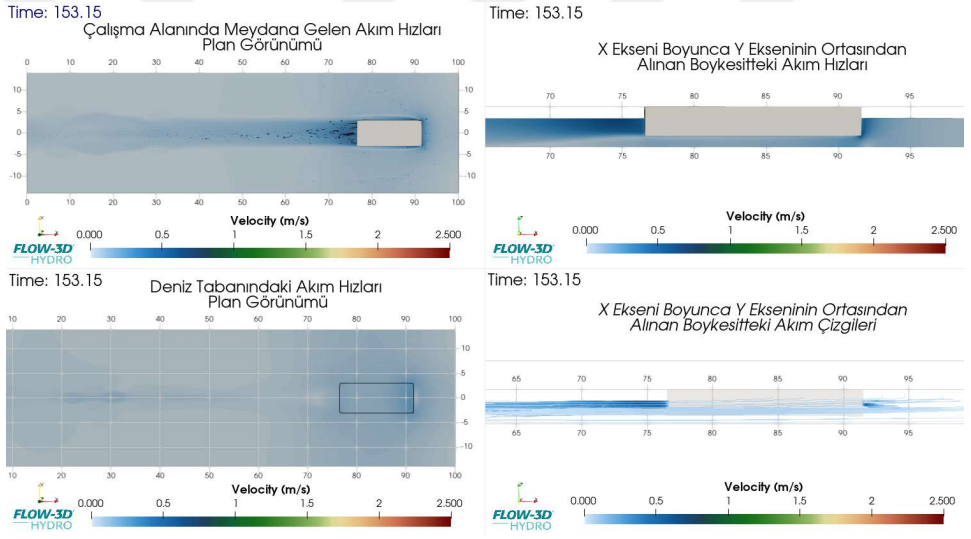
Şekil A. 7: Senaryo-11 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



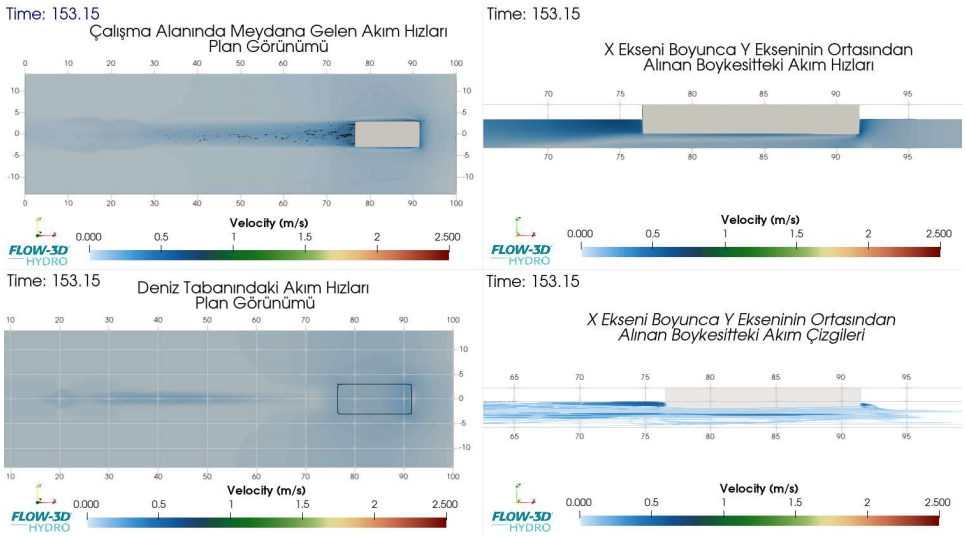
Şekil A. 8: Senaryo-12 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



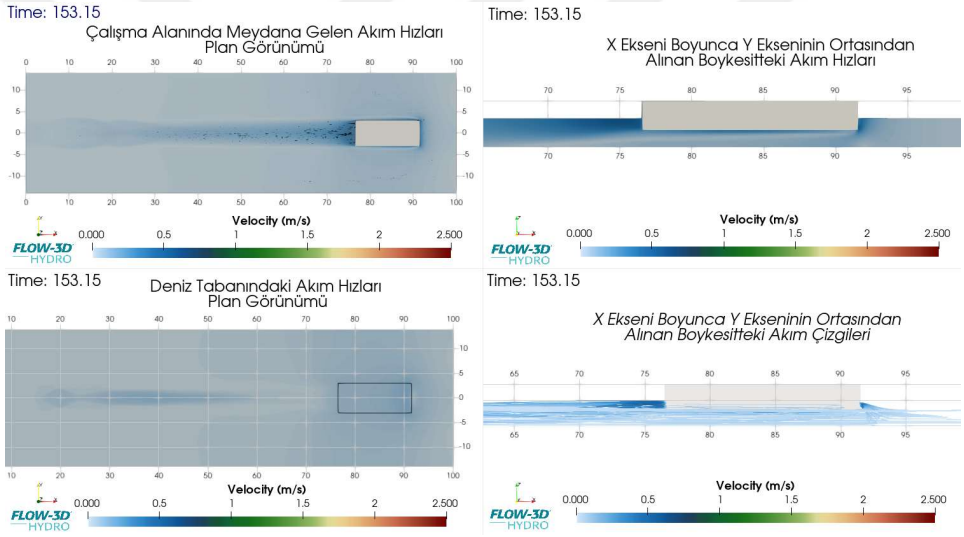
Şekil A. 9: Senaryo-13 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



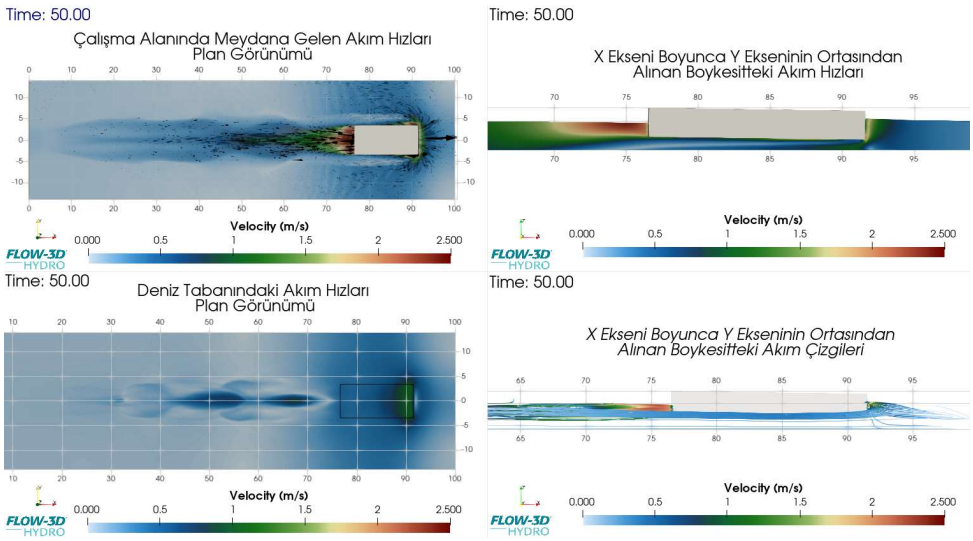
Şekil A. 10: Senaryo-14 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



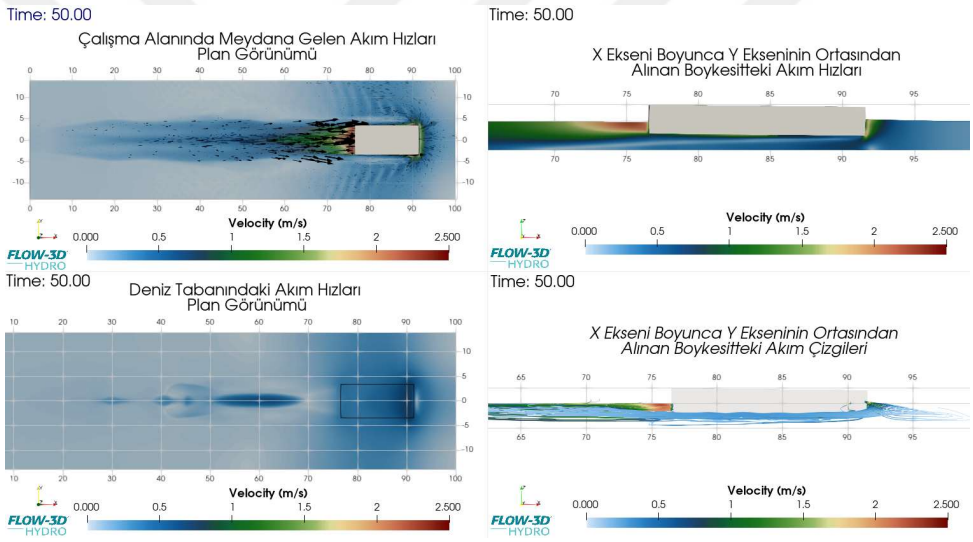
Şekil A. 11: Senaryo-15 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



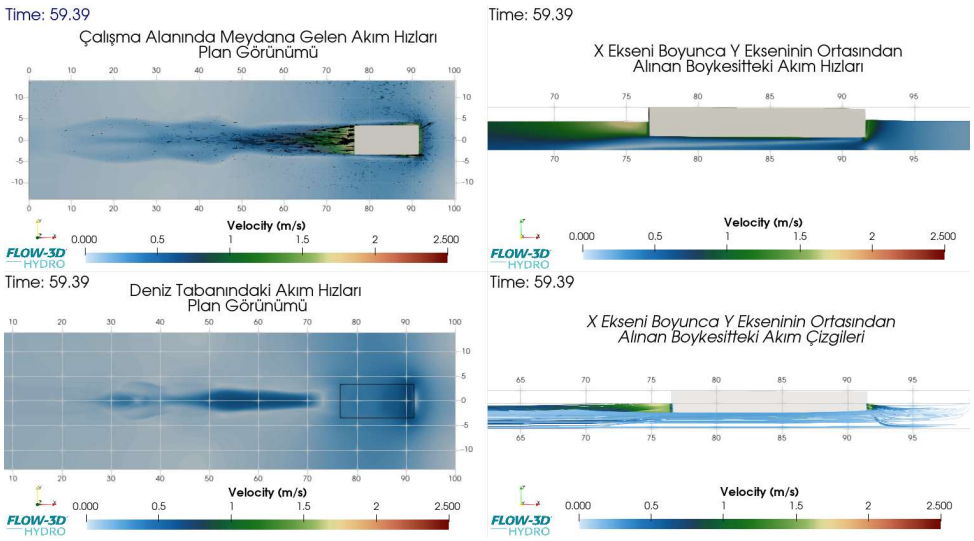
Şekil A. 12: Senaryo-16 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



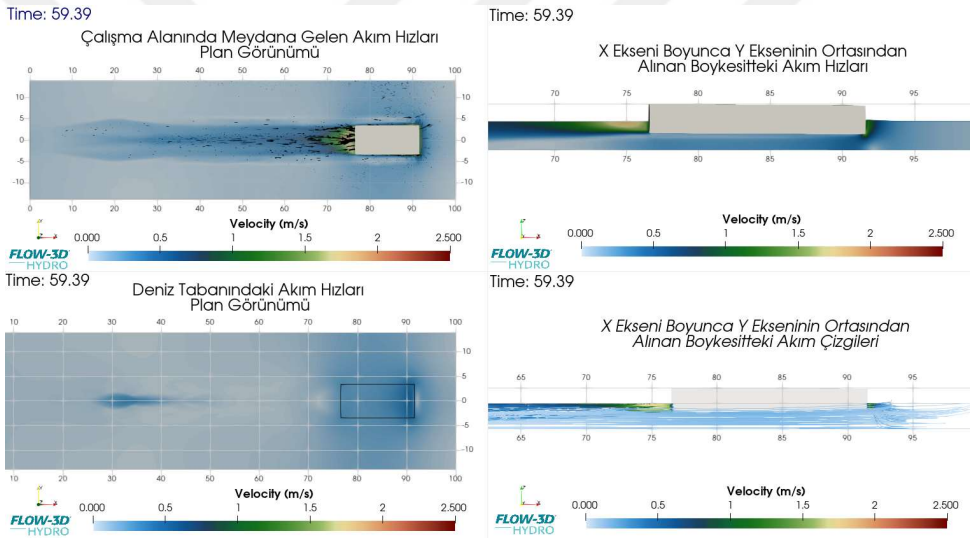
Şekil A. 13: Senaryo-19 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



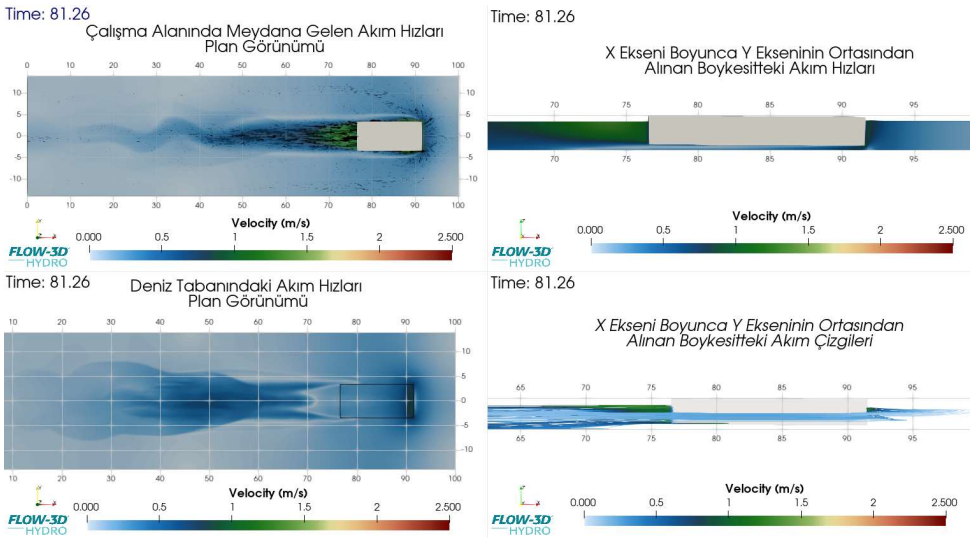
Şekil A. 14: Senaryo-20 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



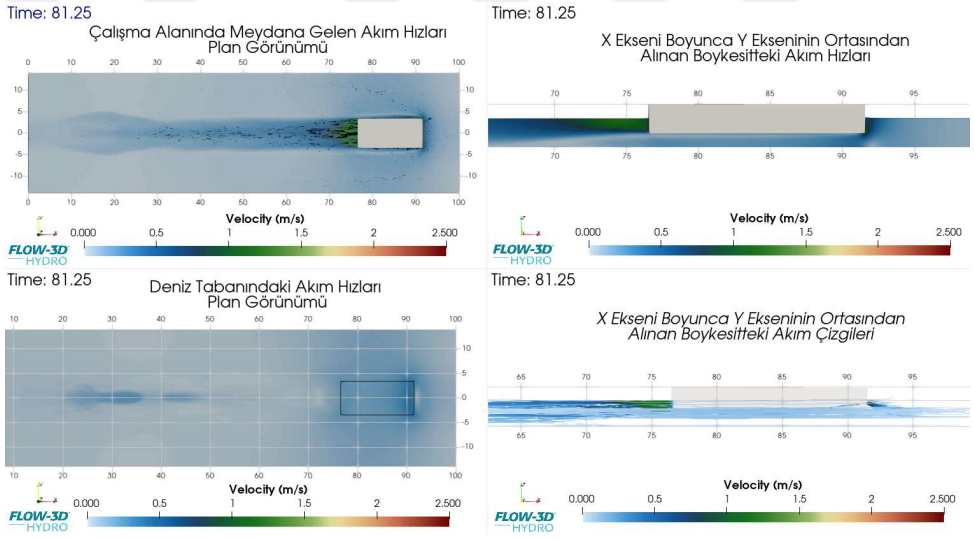
Şekil A. 15: Senaryo-23 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



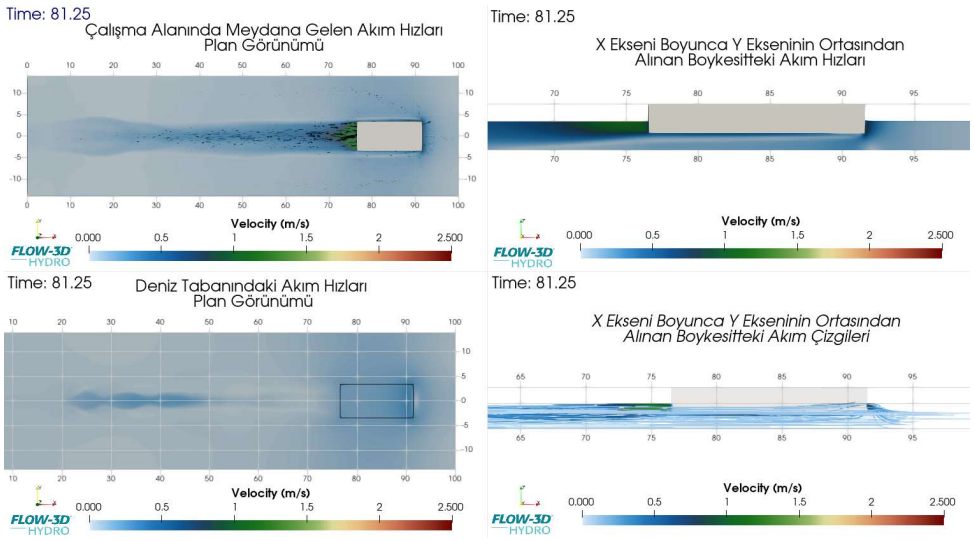
Şekil A. 16: Senaryo-24 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



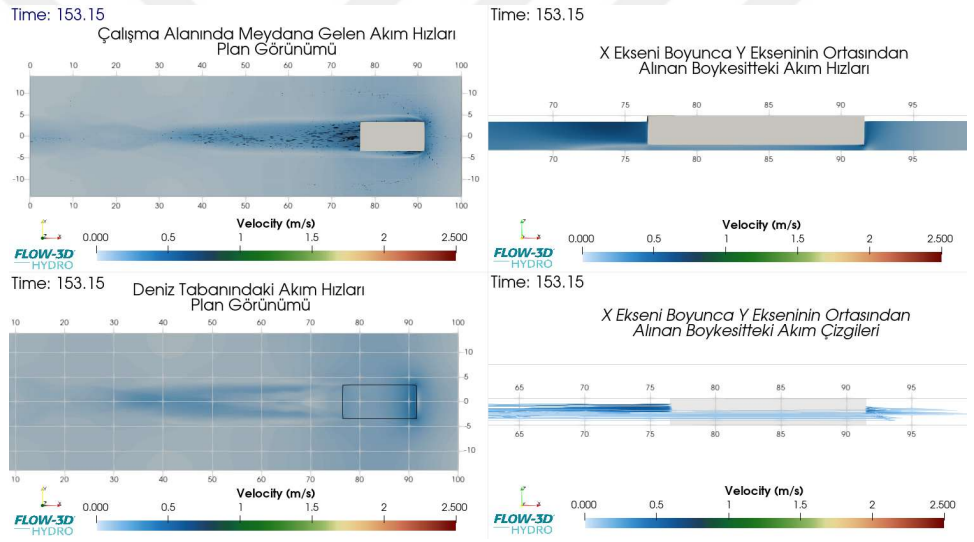
Şekil A. 17: Senaryo-25 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



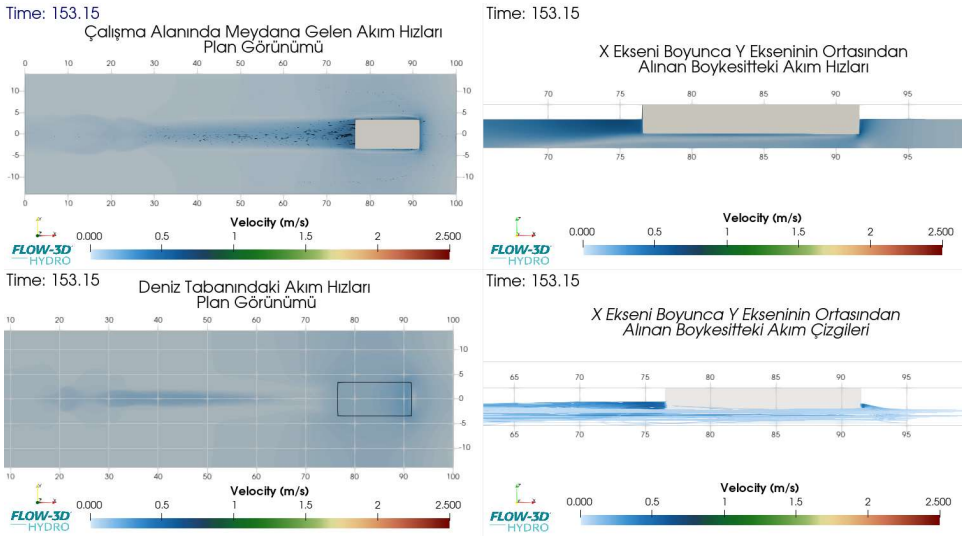
Şekil A. 18: Senaryo-27 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



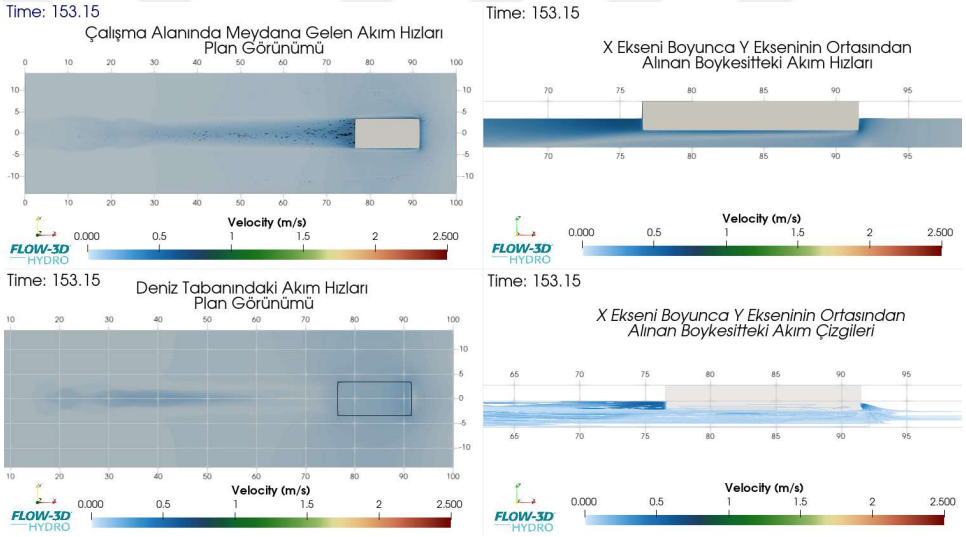
Şekil A. 19: Senaryo-28 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



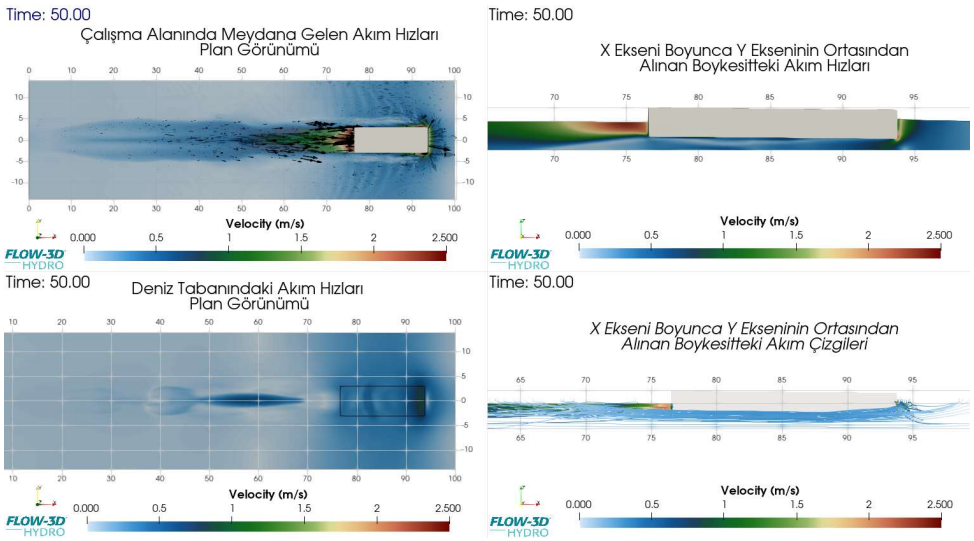
Şekil A. 20: Senaryo-29 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



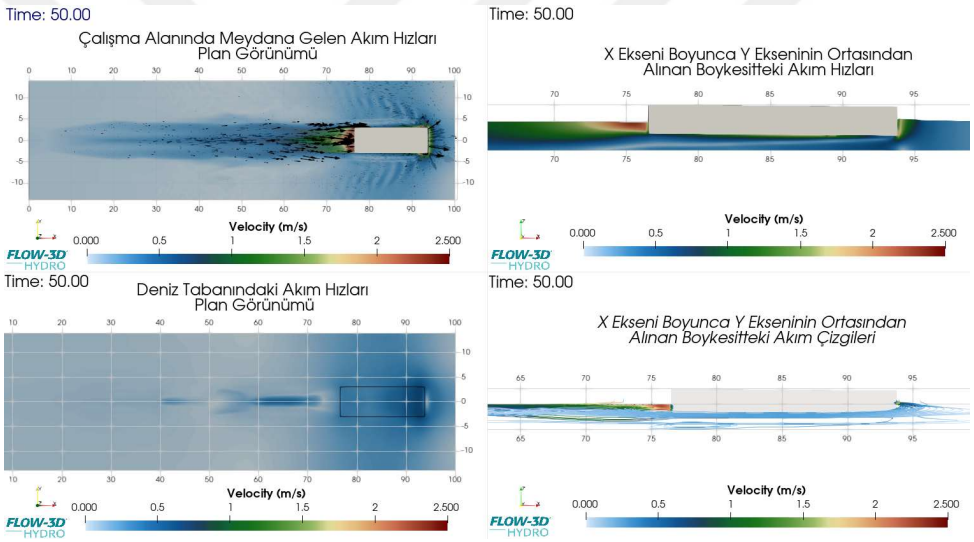
Şekil A. 21: Senaryo-31 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



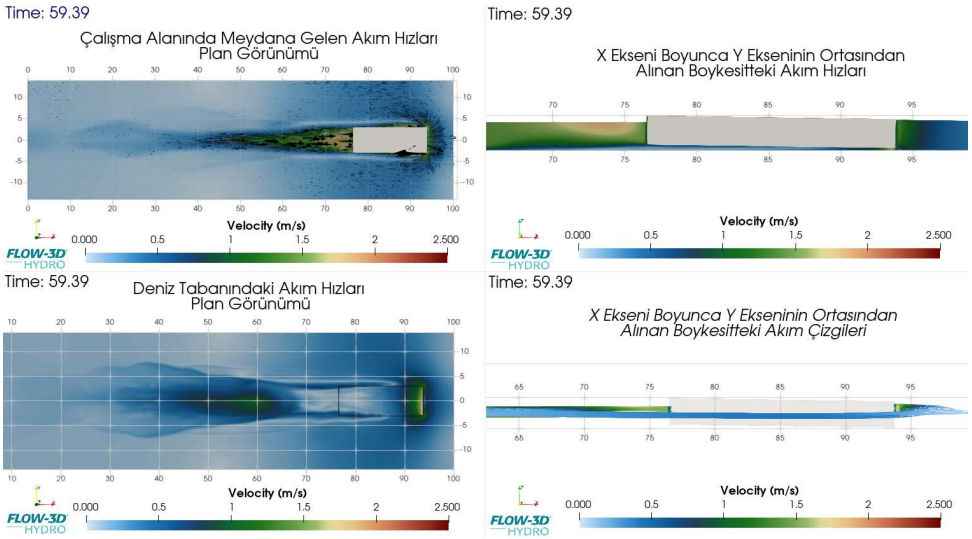
Şekil A. 22: Senaryo-32 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



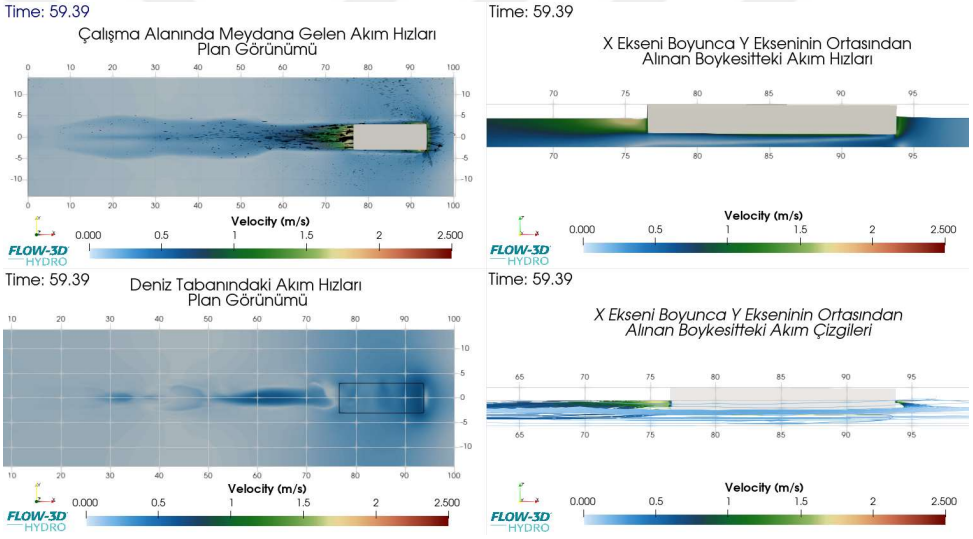
Şekil A. 23: Senaryo-35 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



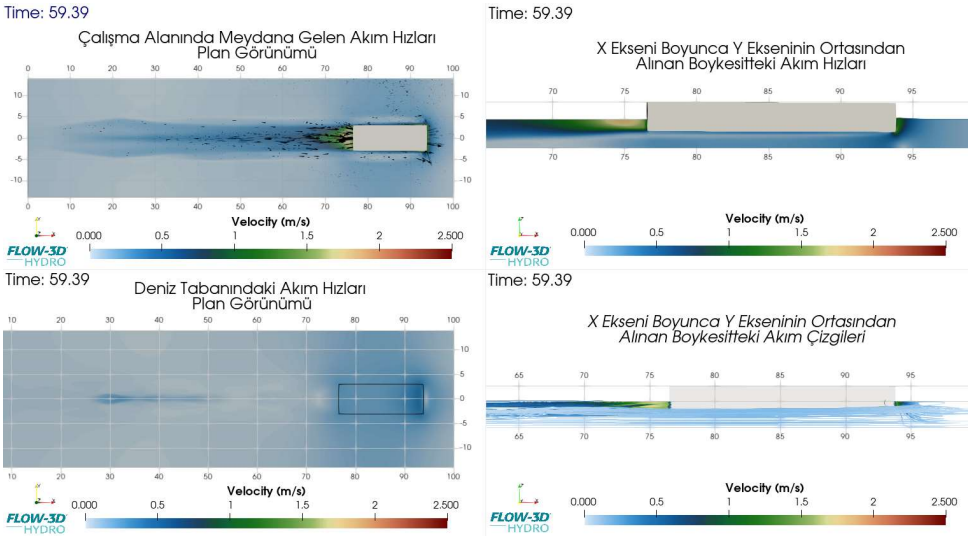
Şekil A. 24: Senaryo-36 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



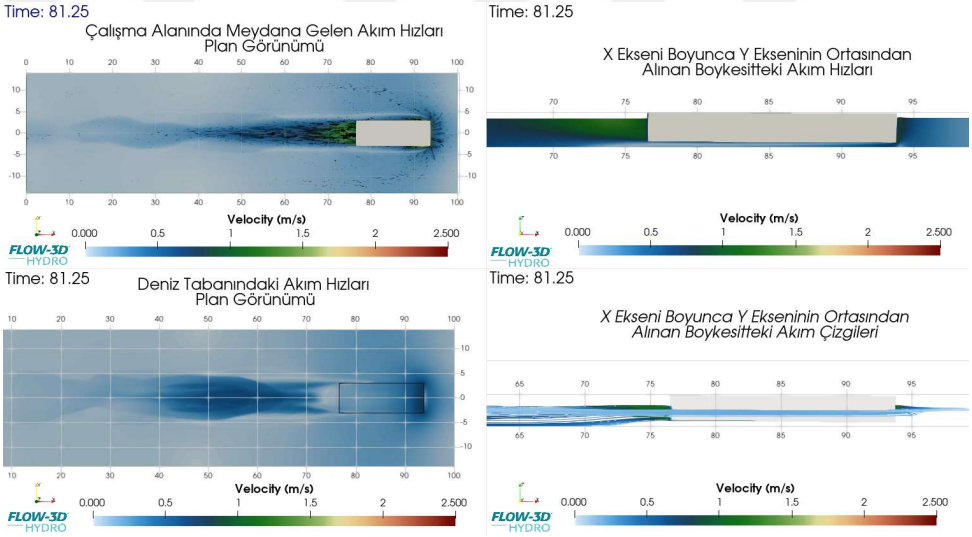
Şekil A. 25: Senaryo-37 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



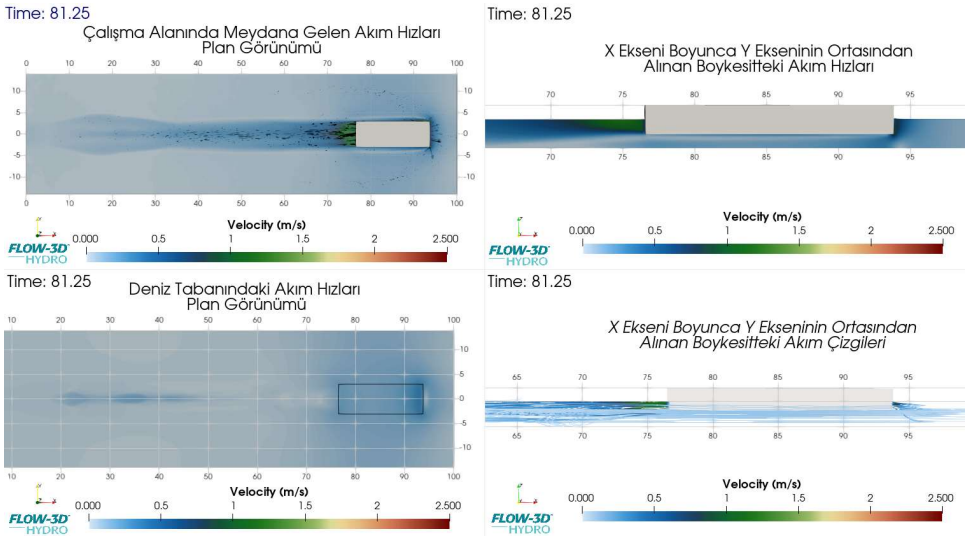
Şekil A. 26: Senaryo-39 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



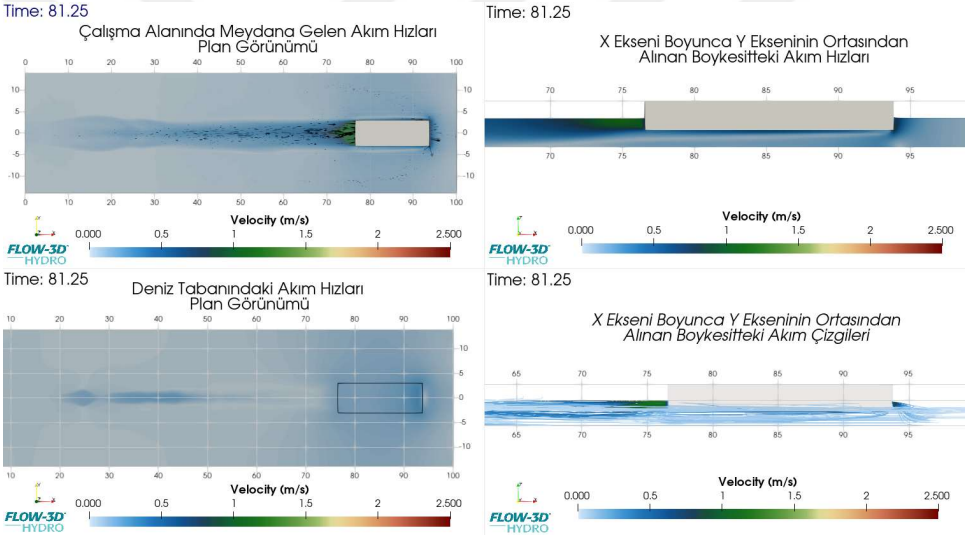
Şekil A. 27: Senaryo-40 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



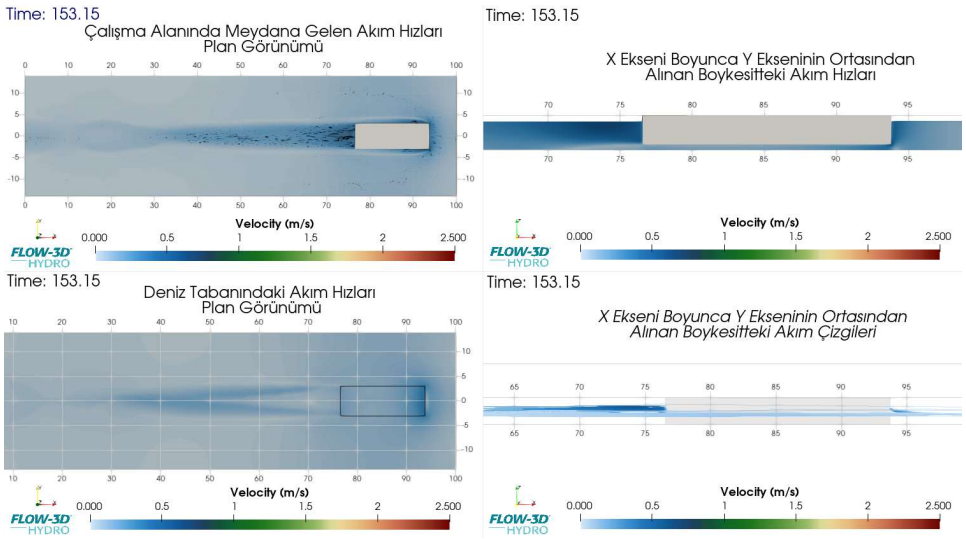
Şekil A. 28: Senaryo-41 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



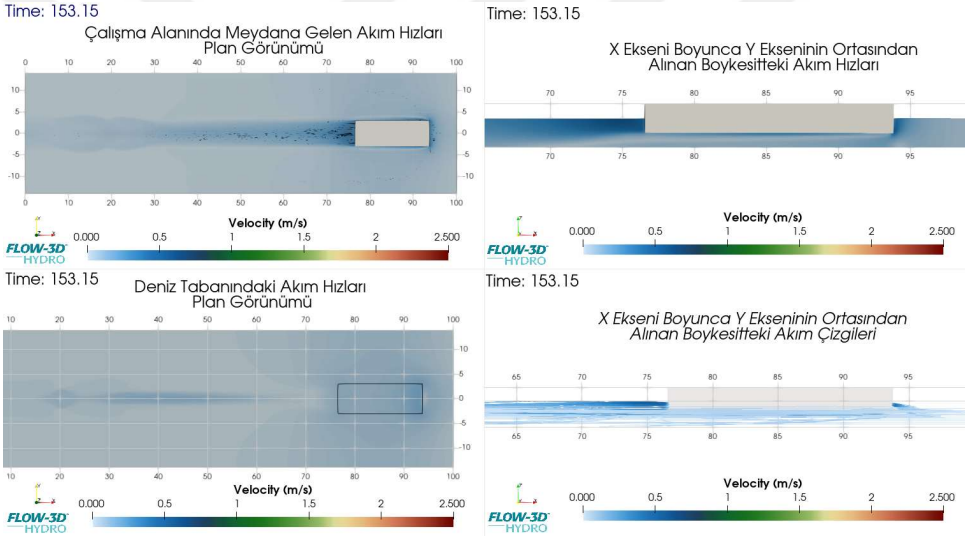
Şekil A. 29: Senaryo-43 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



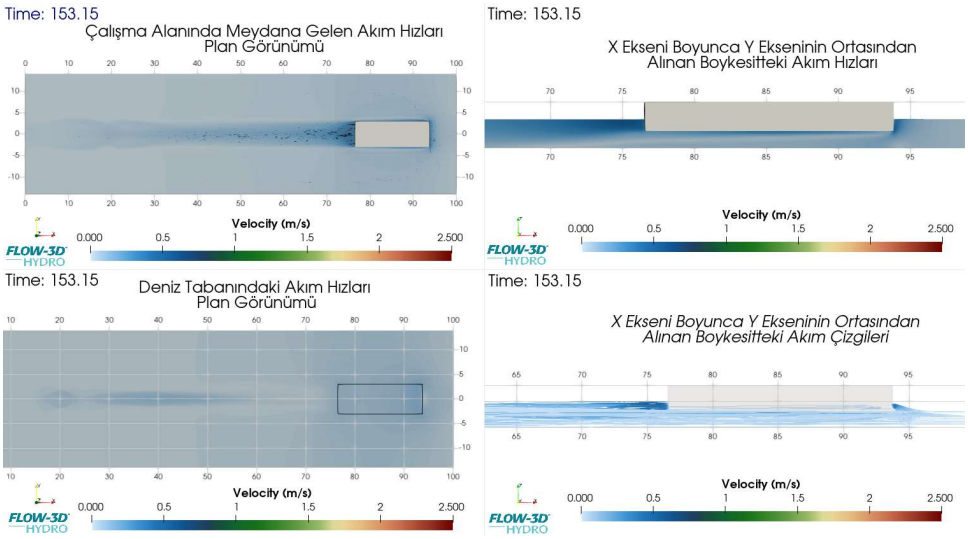
Şekil A. 30: Senaryo-44 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



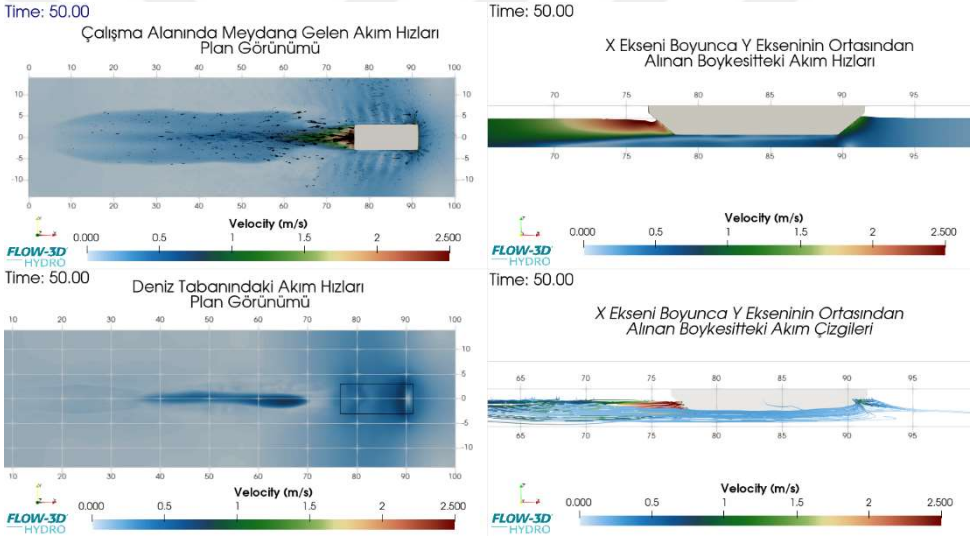
Şekil A. 31: Senaryo-45 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



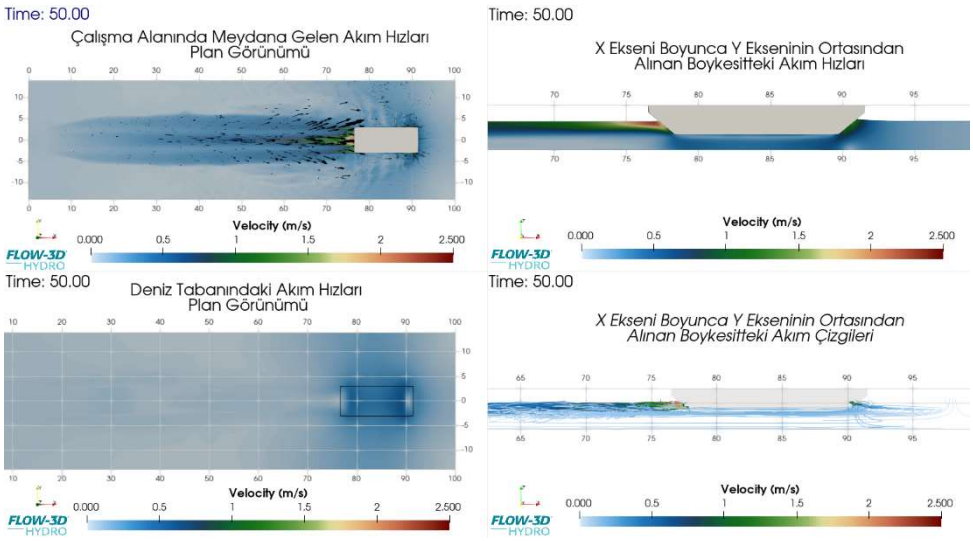
Şekil A. 32: Senaryo-47 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



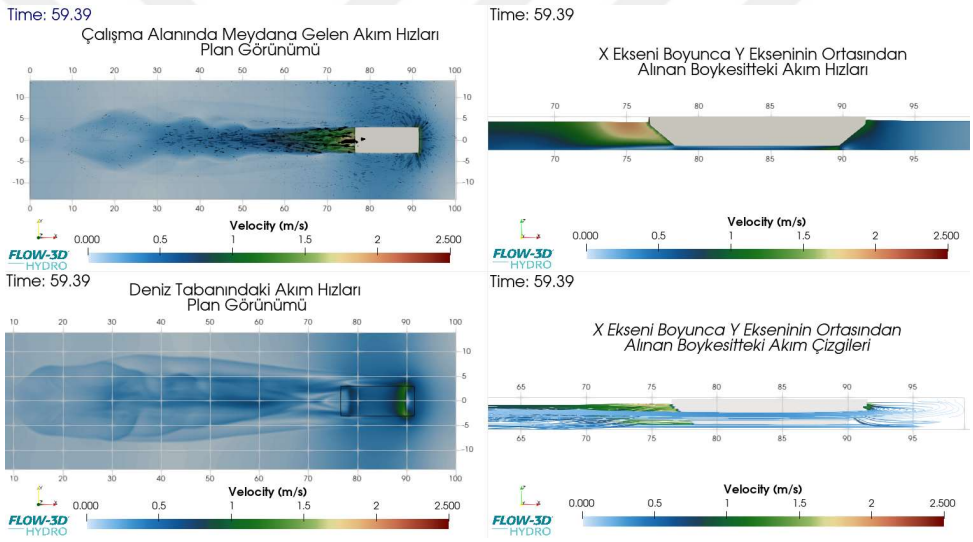
Şekil A. 33: Senaryo-48 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



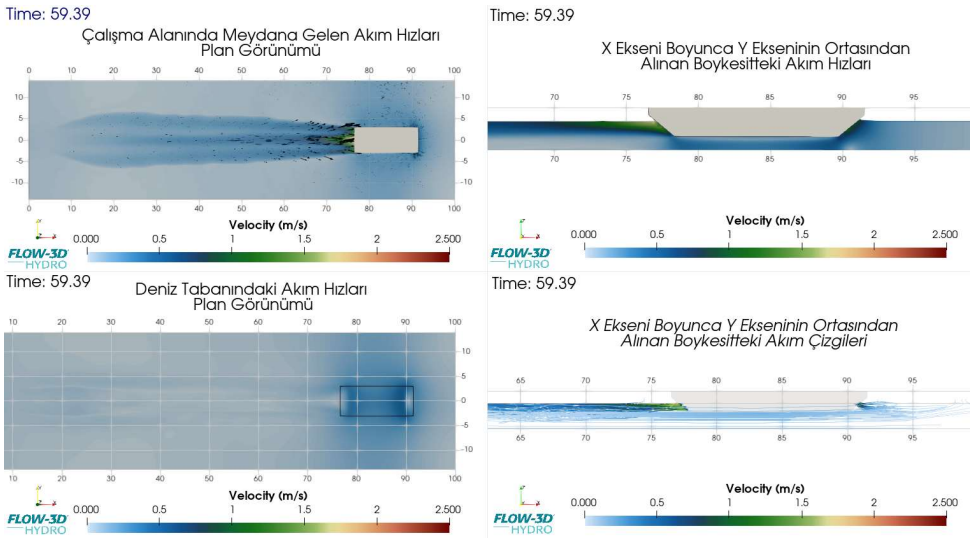
Şekil A. 34: Senaryo-51 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



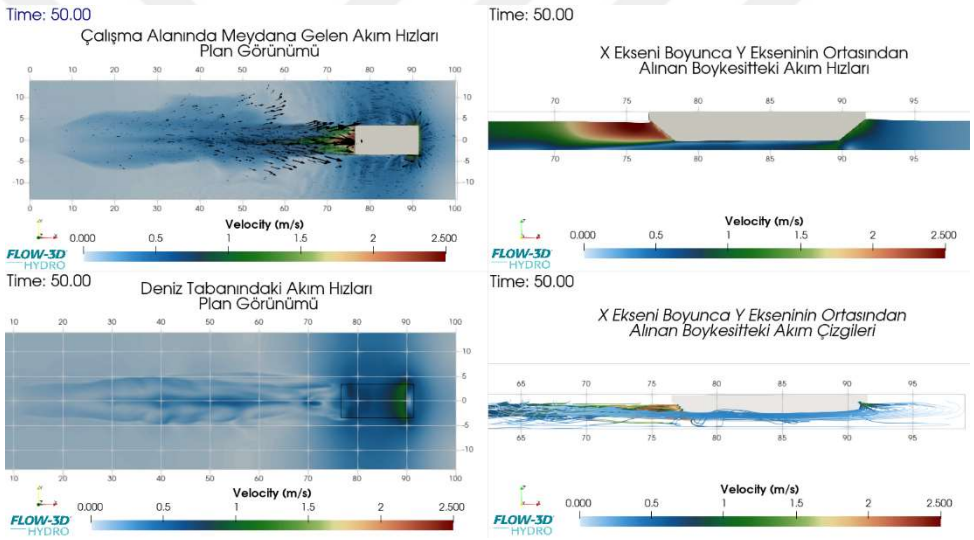
Şekil A. 35: Senaryo-52 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



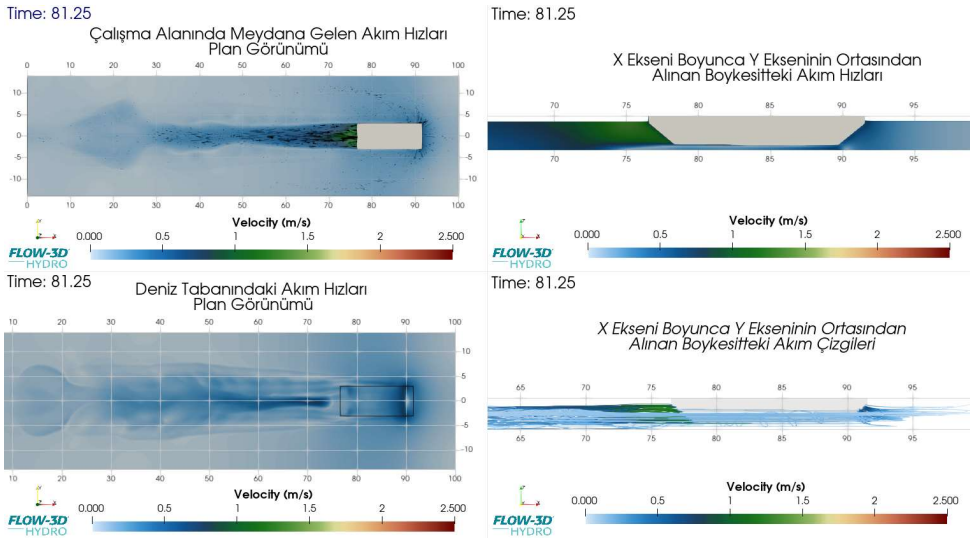
Şekil A. 36: Senaryo-53 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



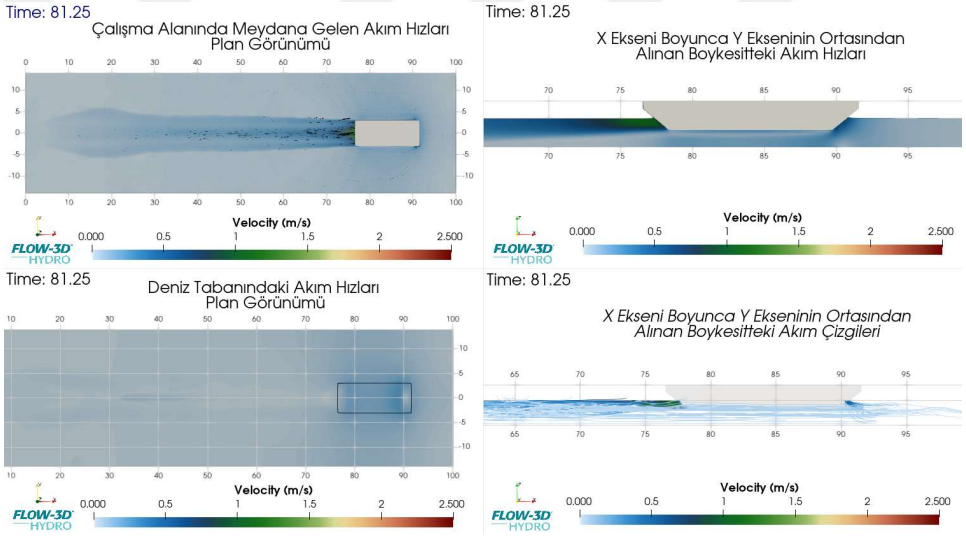
Şekil A. 37: Senaryo-55 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



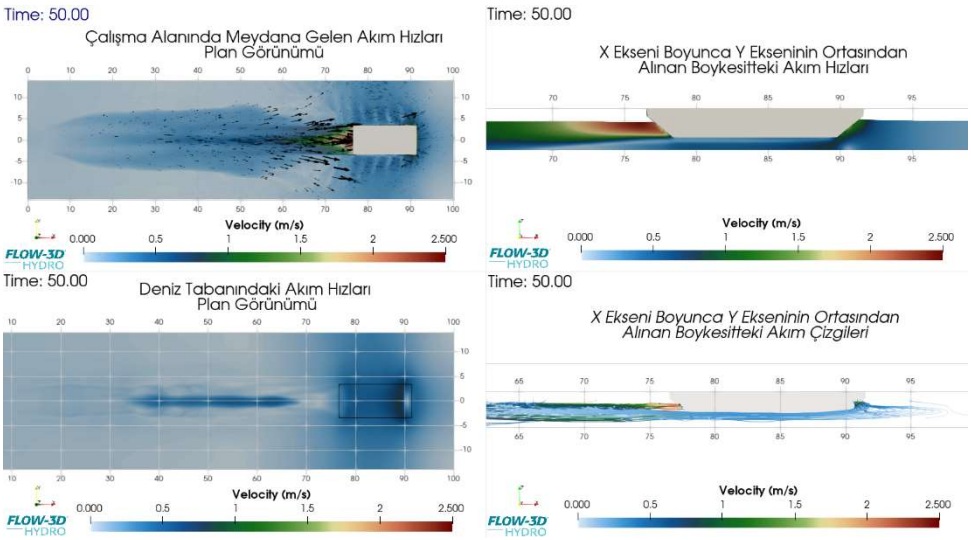
Şekil A. 38: Senaryo-56 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



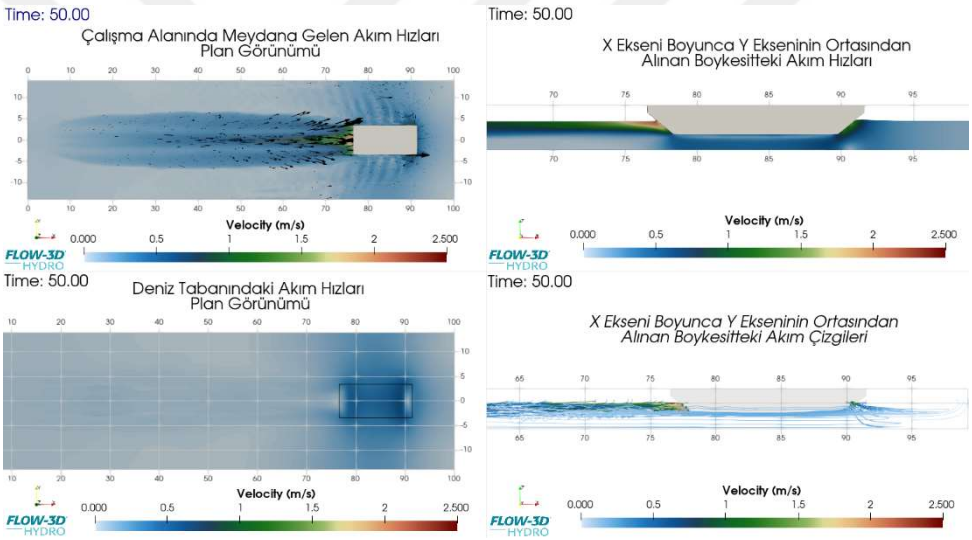
Şekil A. 39: Senaryo-57 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



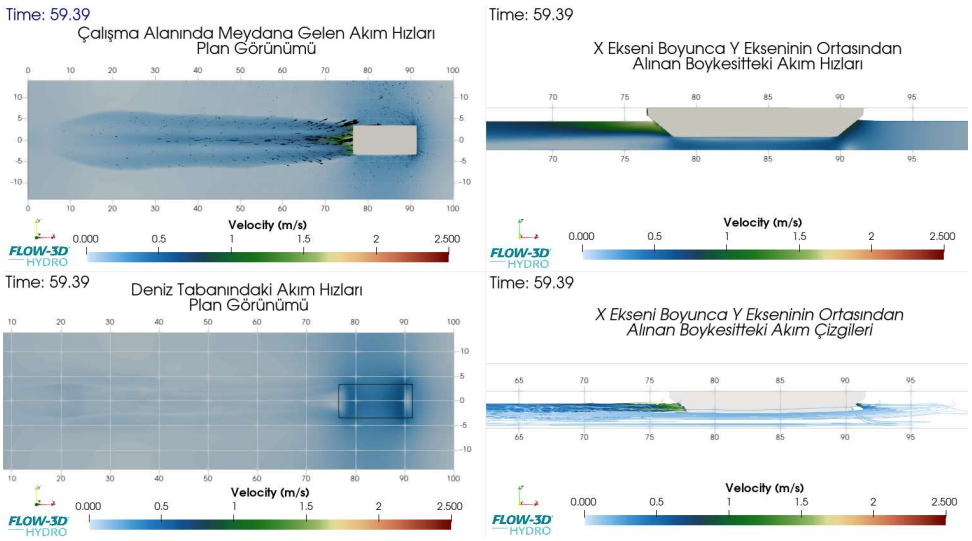
Şekil A. 40: Senaryo-60 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



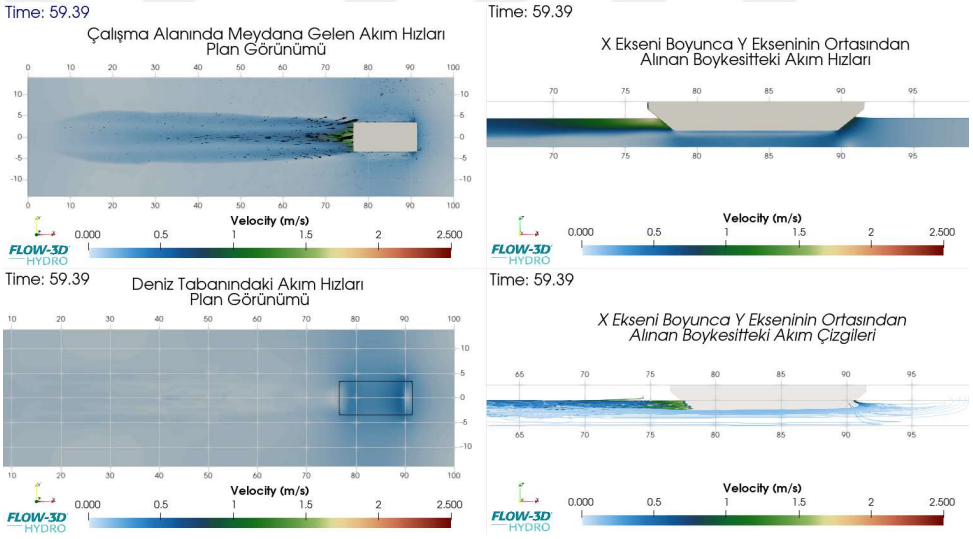
Şekil A. 41: Senaryo-67 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



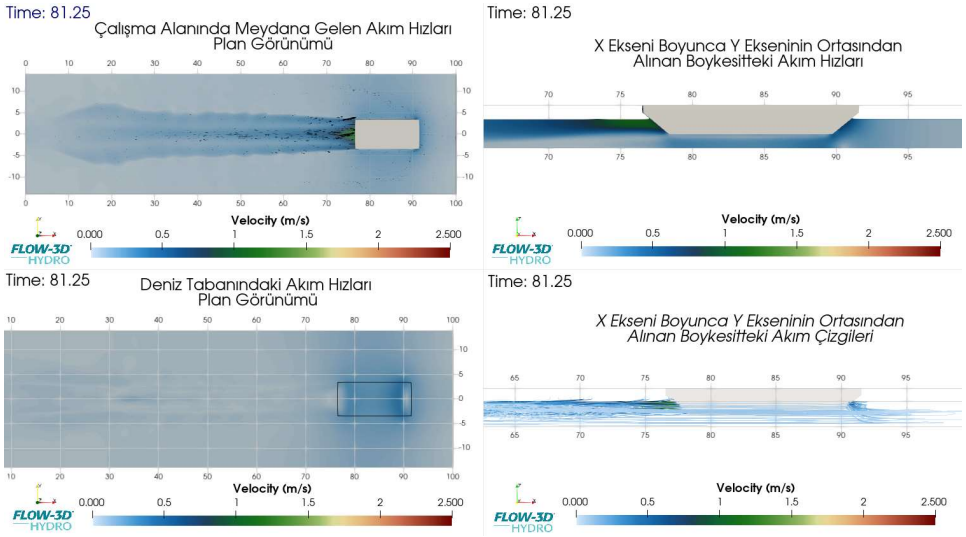
Şekil A. 42: Senaryo-68 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



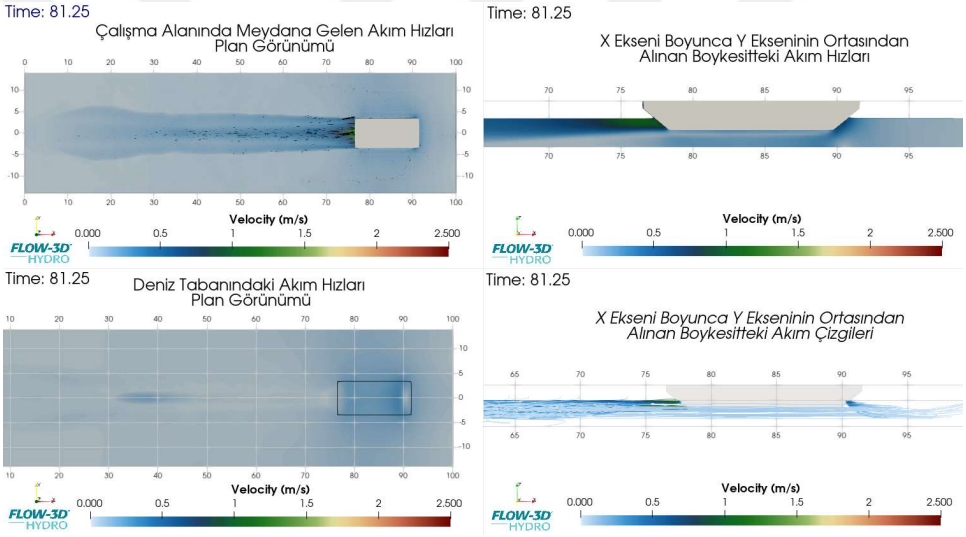
Şekil A. 43: Senaryo-71 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



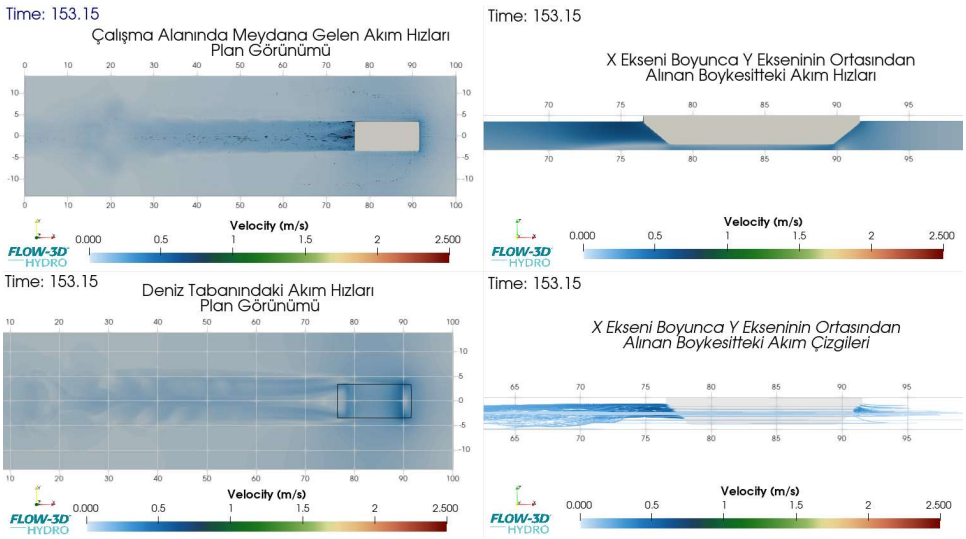
Şekil A. 44: Senaryo-72 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



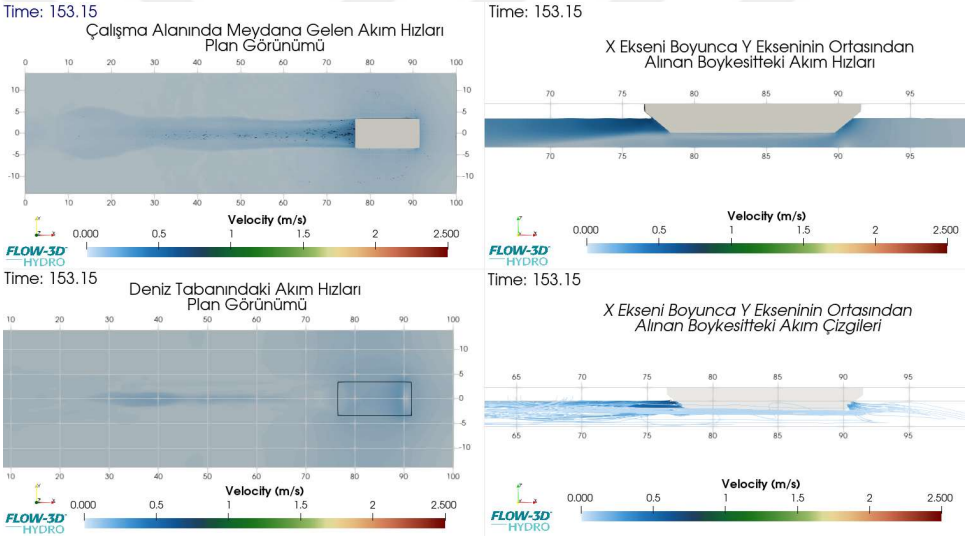
Şekil A. 45: Senaryo-75 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



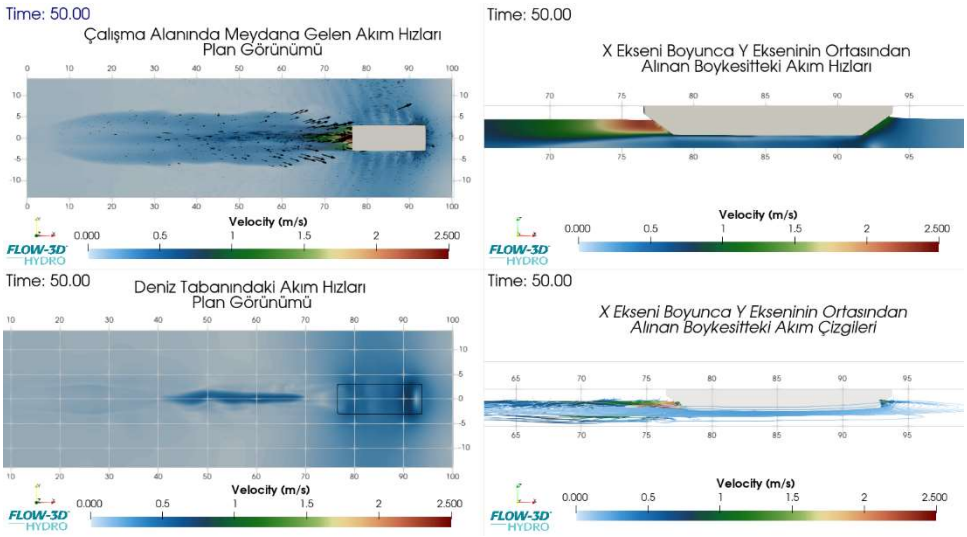
Şekil A. 46: Senaryo-76 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



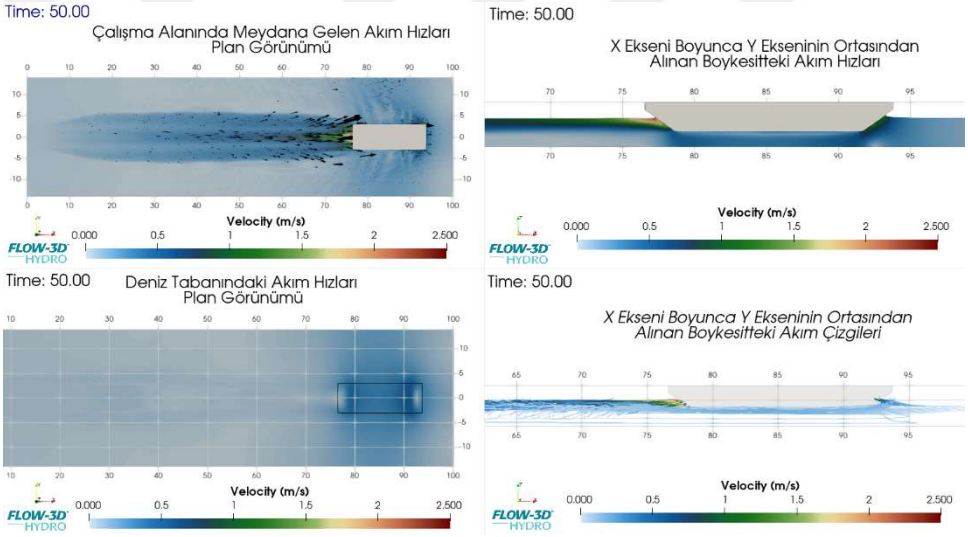
Şekil A. 47: Senaryo-77 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



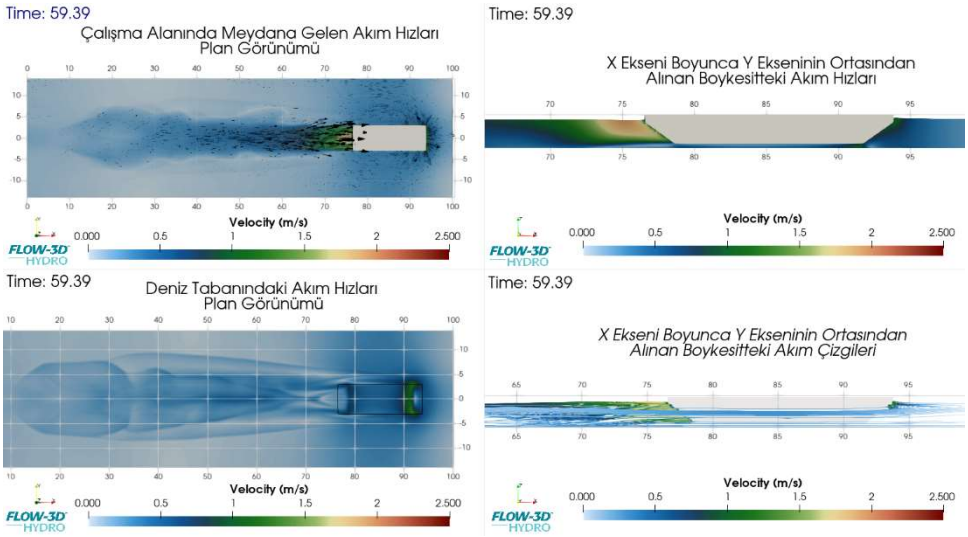
Şekil A. 48: Senaryo-79 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



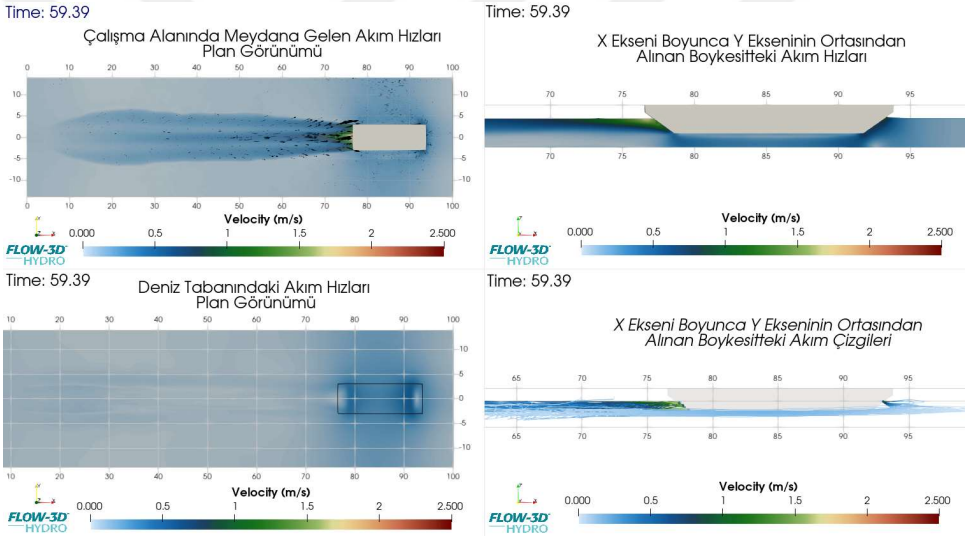
Şekil A. 49: Senaryo-83 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



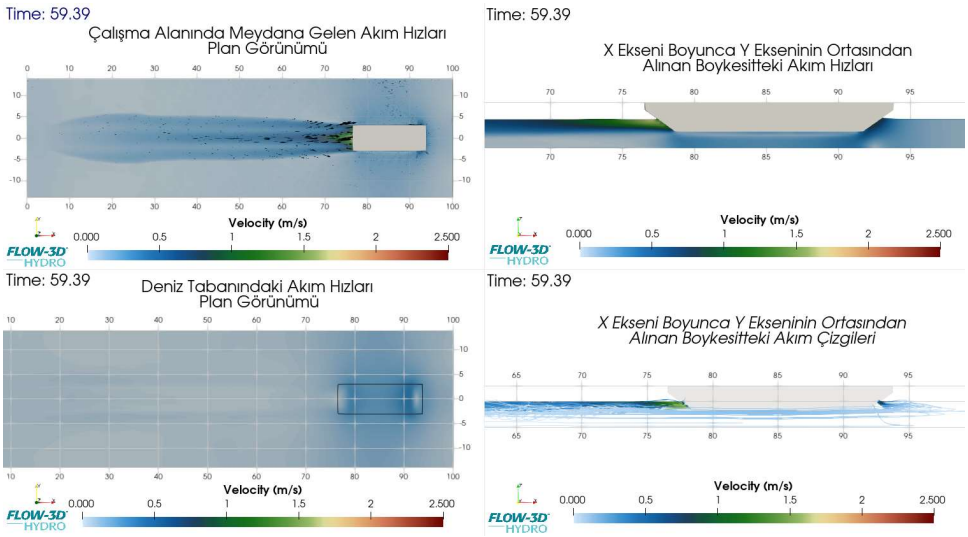
Şekil A. 50: Senaryo-84 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



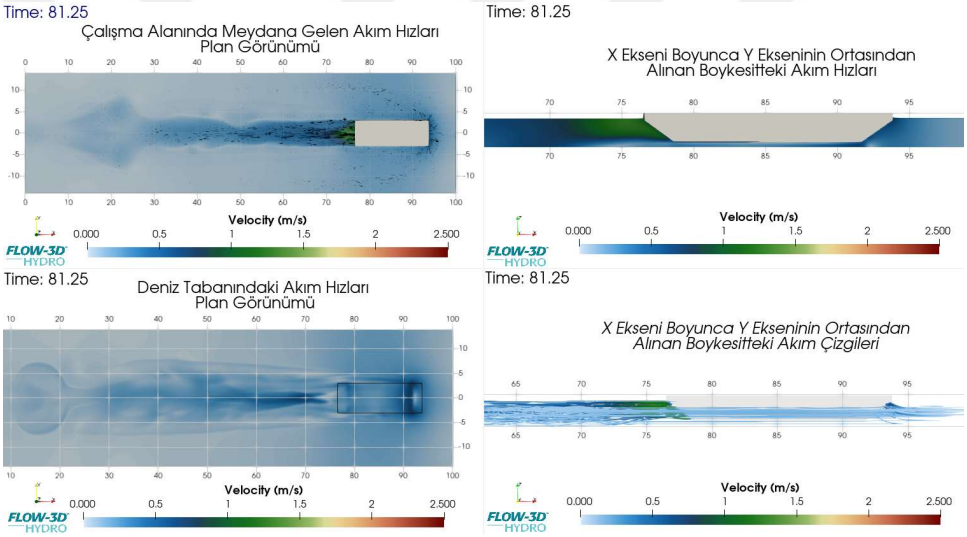
Şekil A. 51: Senaryo-85 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



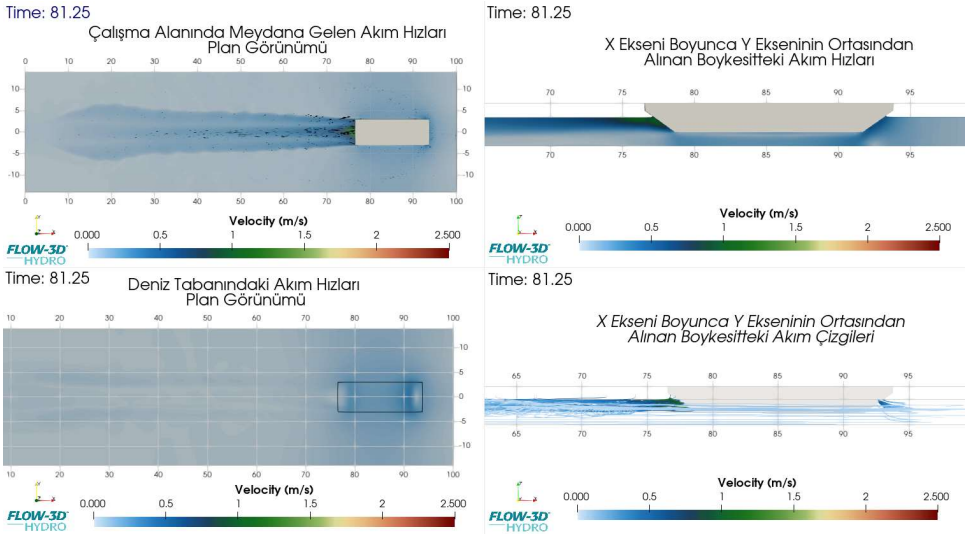
Şekil A. 52: Senaryo-87 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



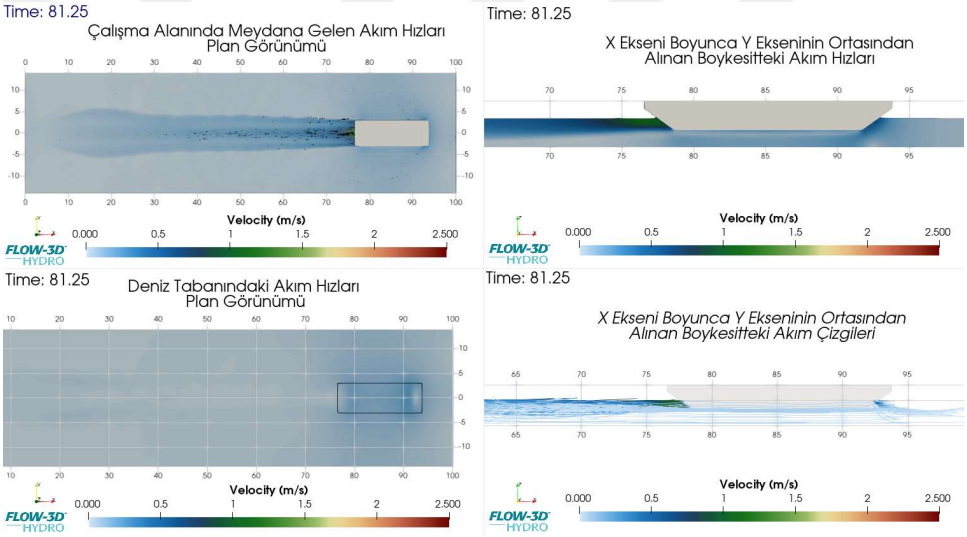
Şekil A. 53: Senaryo-88 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



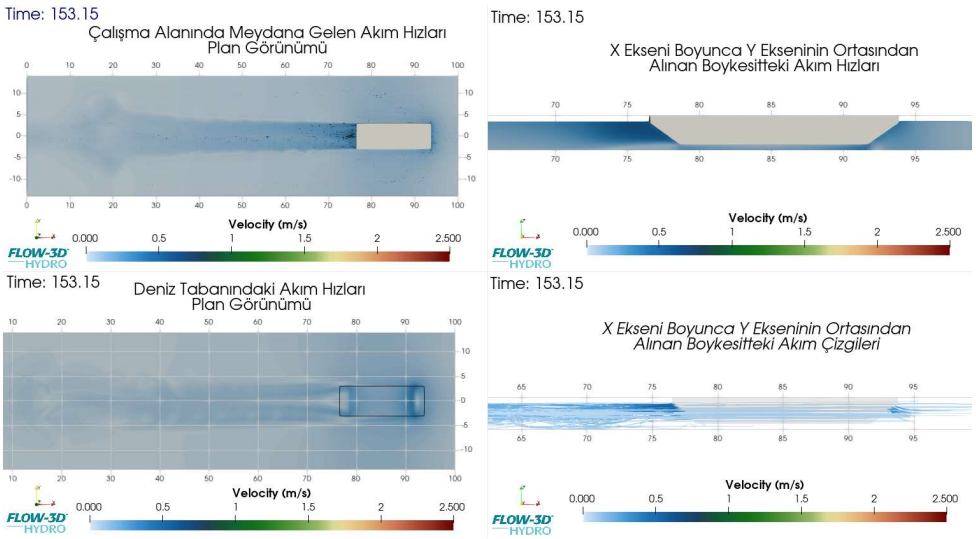
Şekil A. 54: Senaryo-89 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



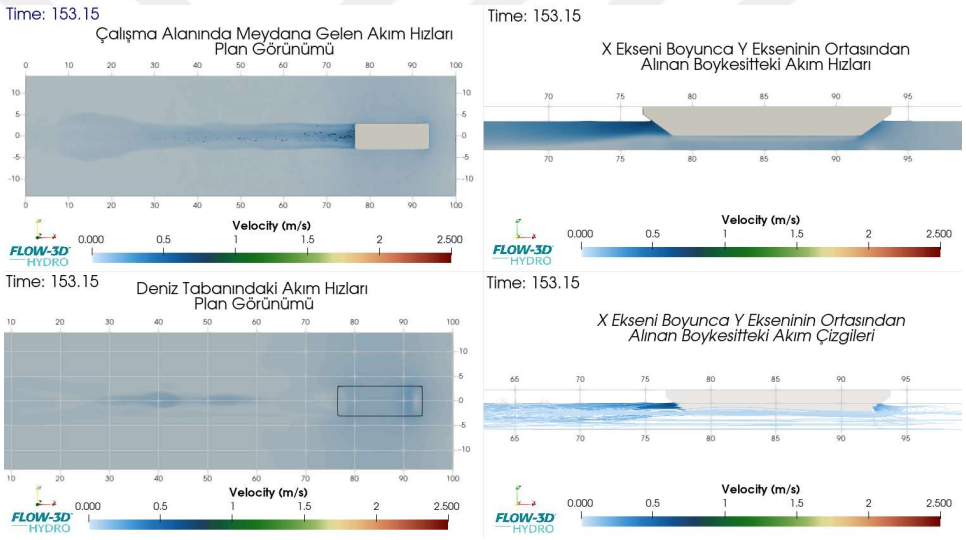
Şekil A. 55: Senaryo-91 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



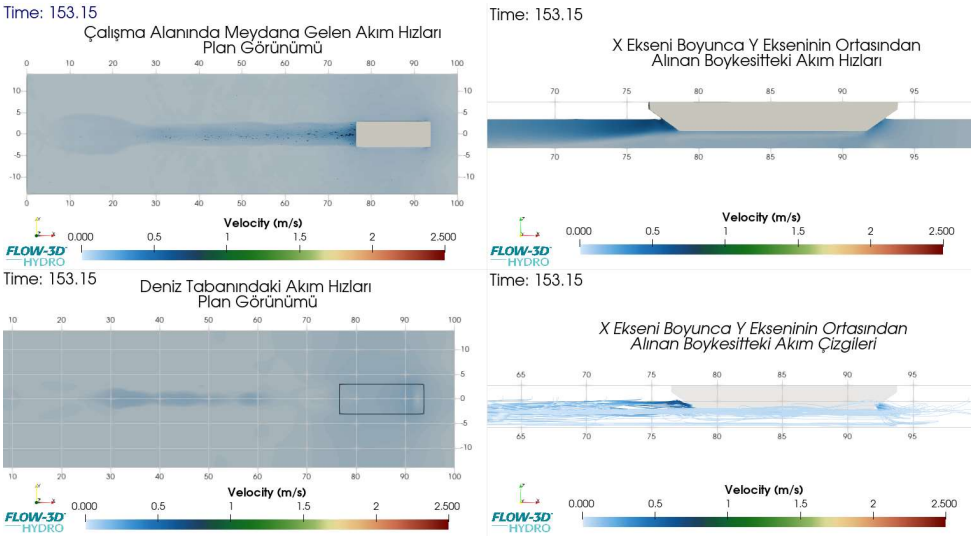
Şekil A. 56: Senaryo-92 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.



Şekil A. 57: Senaryo-93 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

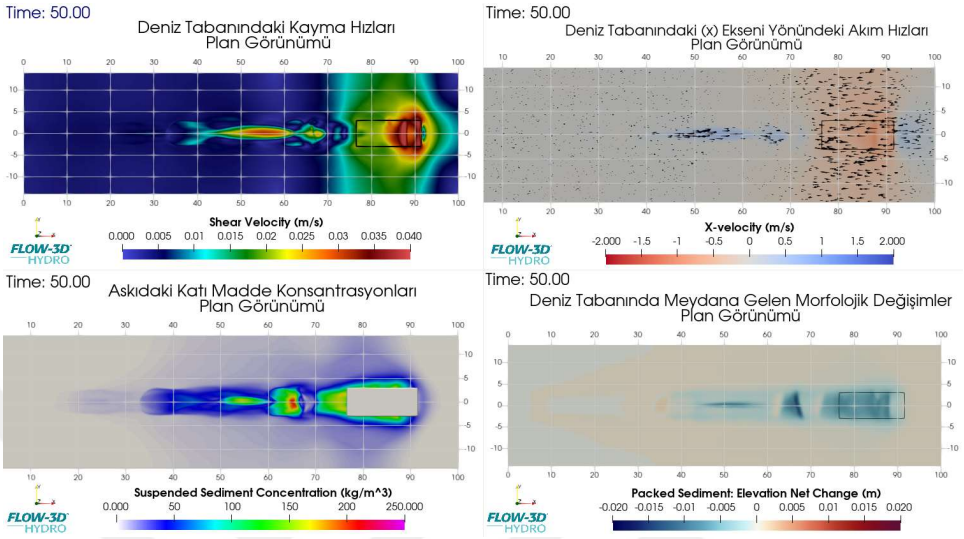


Şekil A. 58: Senaryo-95 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

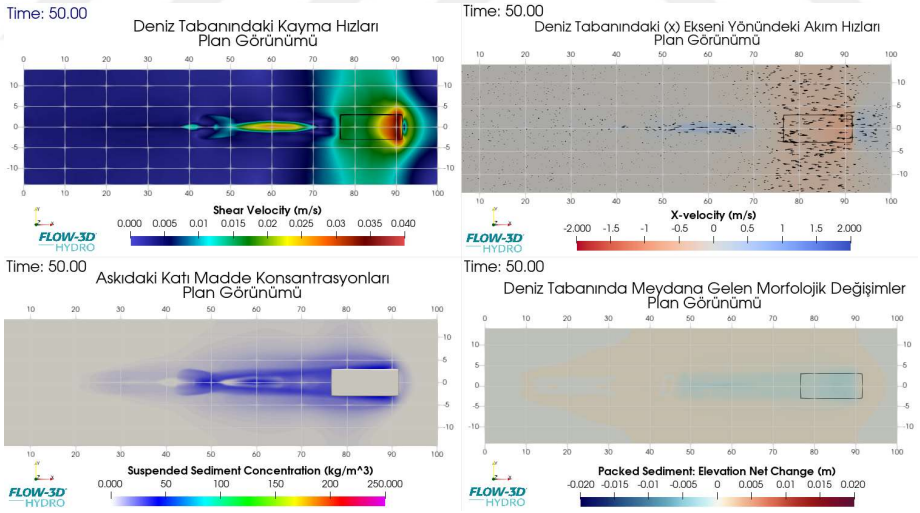


Şekil A. 59: Senaryo-96 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen plan ve kesit görünümündeki akım hızları ve yönleri.

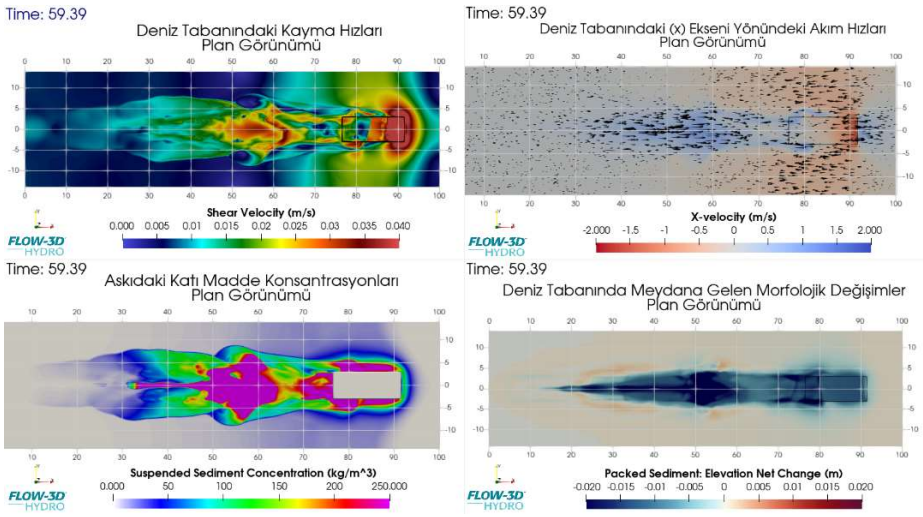
EK B: Hidromorfolojik etkiler, deniz tabanında x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve tabanda meydana gelen kayma hızlarının gösterildiği model sonuçlarının devamı.



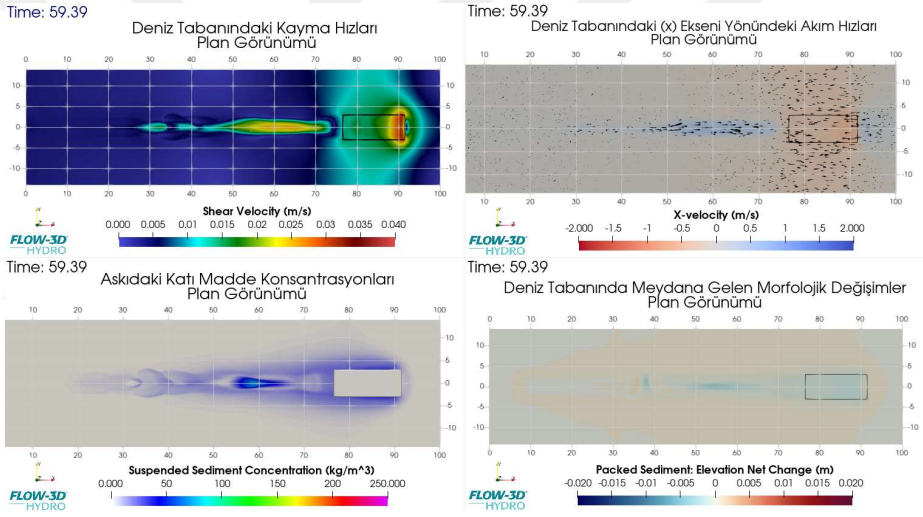
Şekil B. 1: Senaryo-3 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



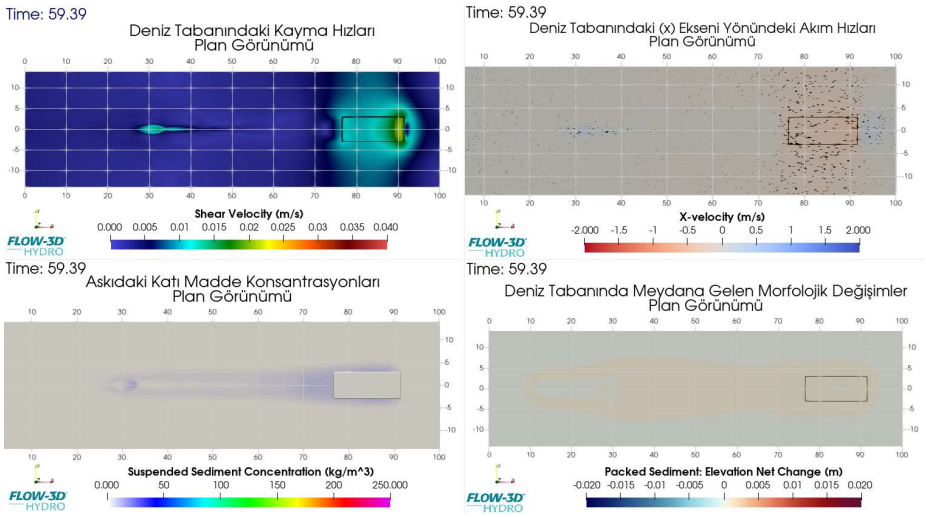
Şekil B. 2: Senaryo-4 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



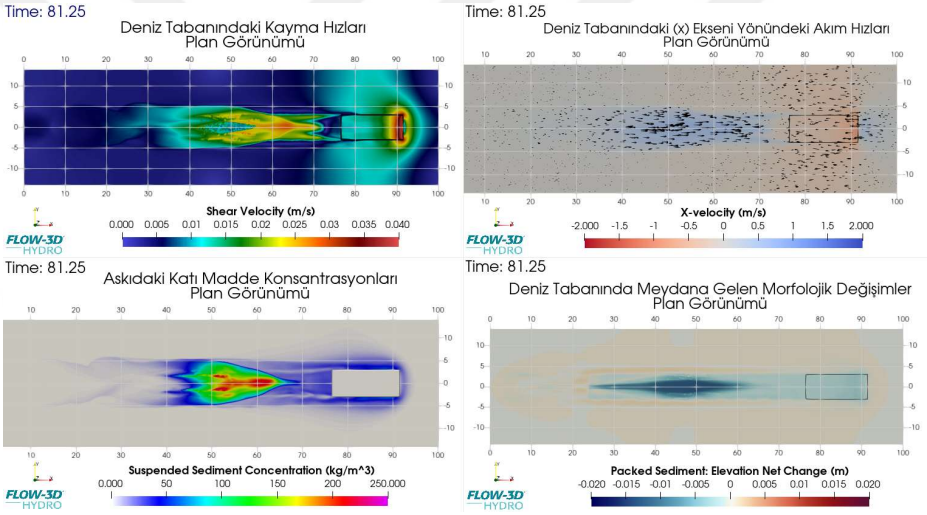
Şekil B. 3: Senaryo-5 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



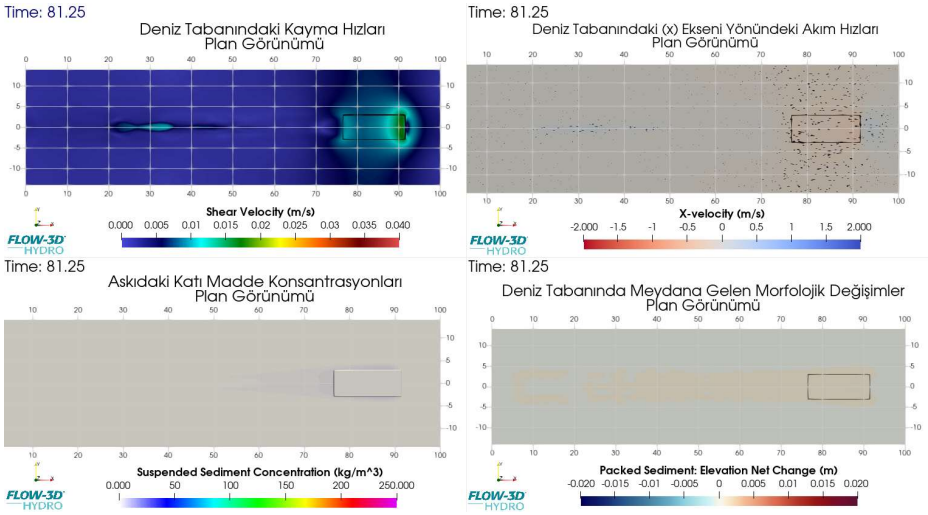
Şekil B. 4: Senaryo-7 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



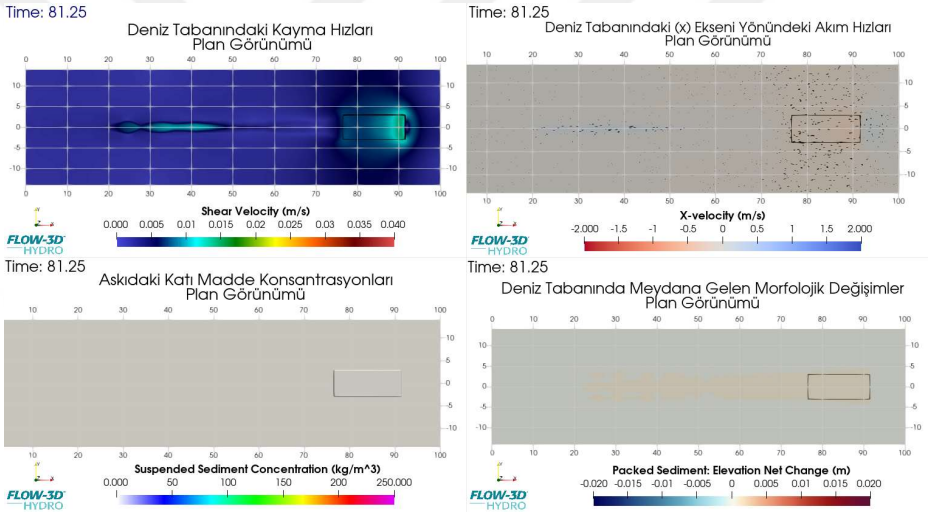
Şekil B. 5: Senaryo-8 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



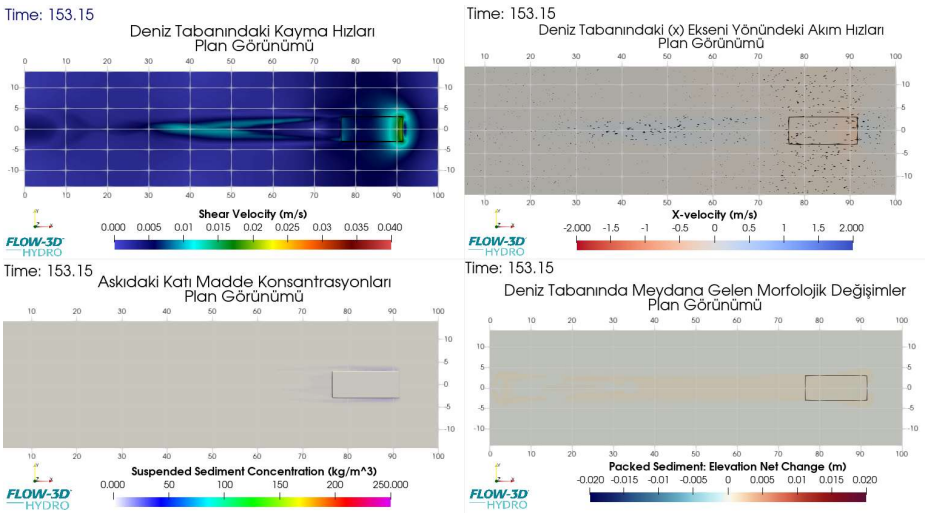
Şekil B. 6: Senaryo-9 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



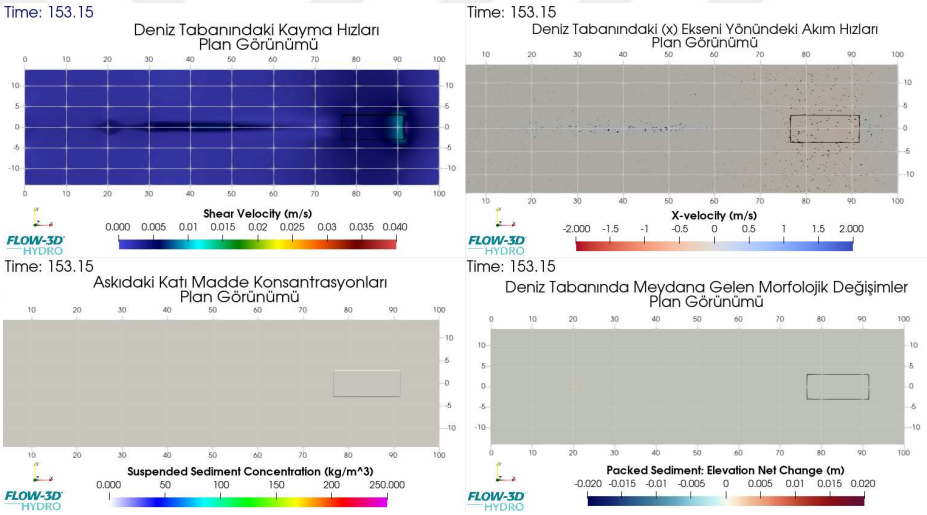
Şekil B. 7: Senaryo-11 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



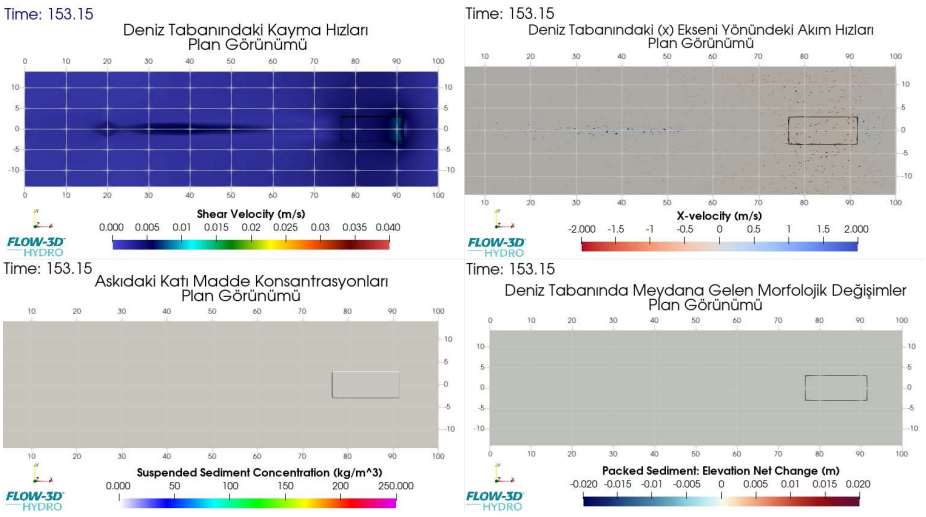
Şekil B. 8: Senaryo-12 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



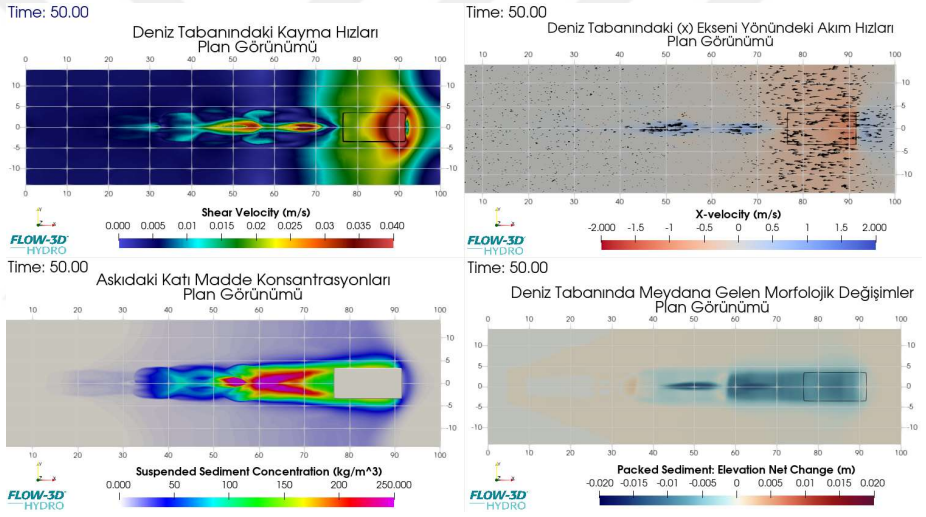
Şekil B. 9: Senaryo-13 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



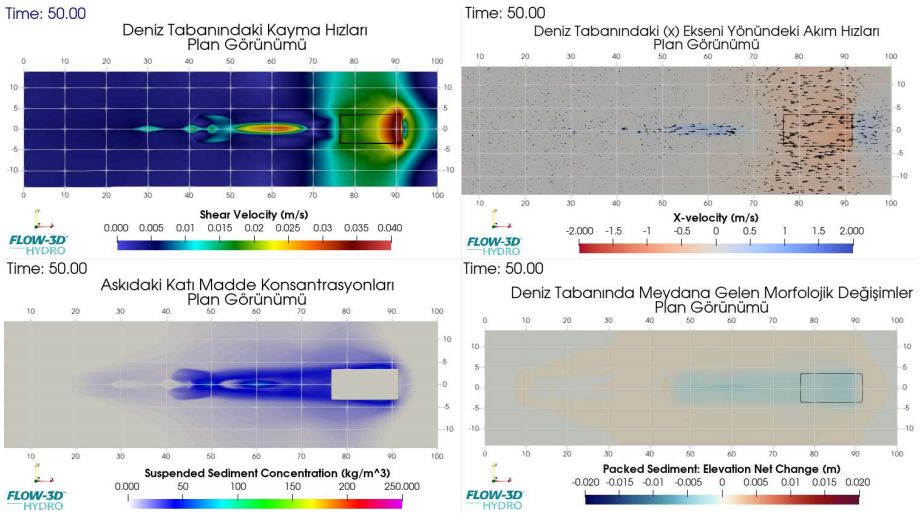
Şekil B. 10: Senaryo-15 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



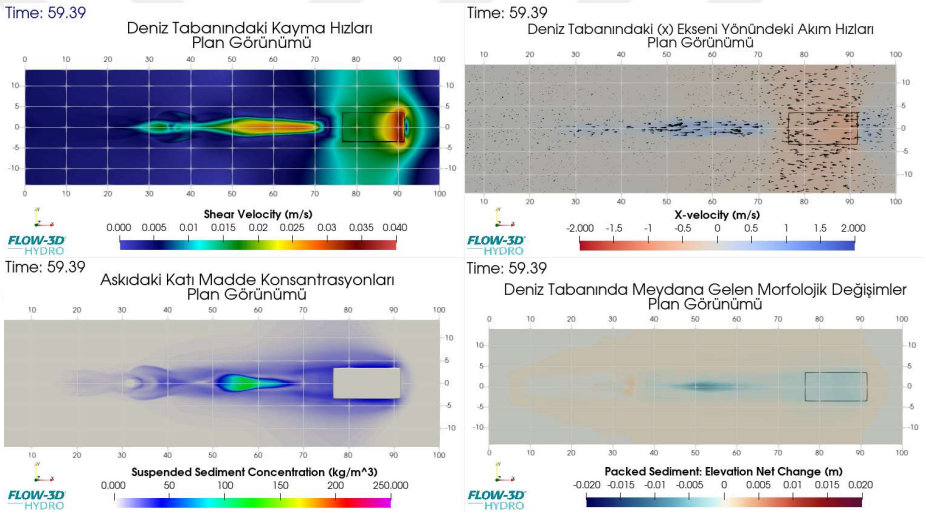
Şekil B. 11: Senaryo-16 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



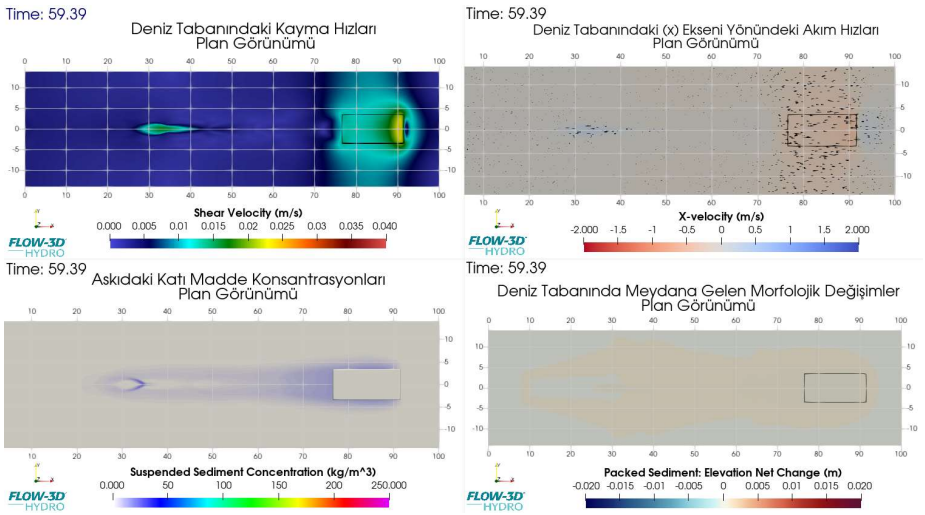
Şekil B. 12: Senaryo-19 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



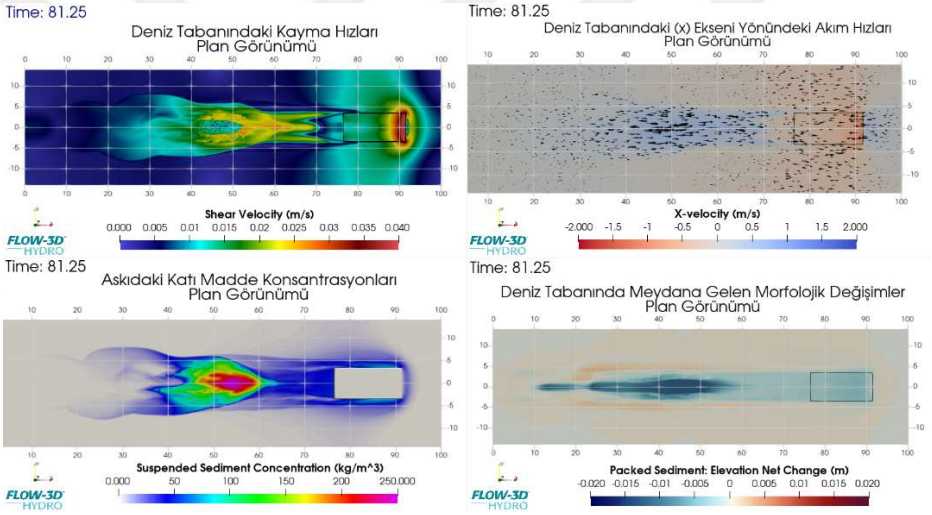
Şekil B. 13: Senaryo-20 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



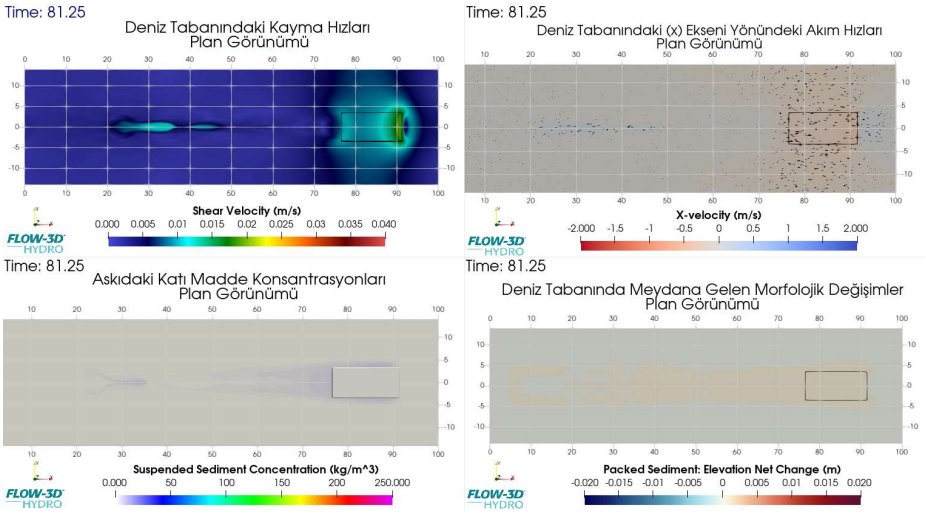
Şekil B. 14: Senaryo-23 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



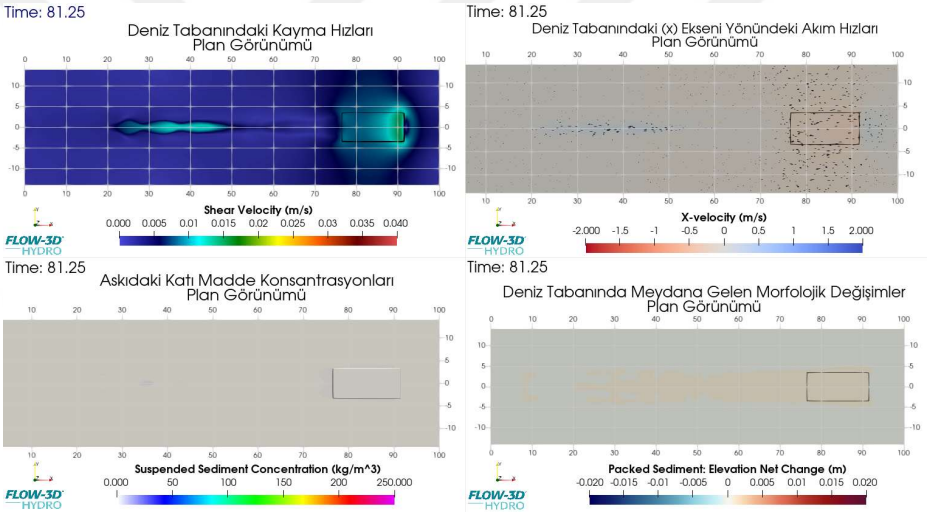
Şekil B. 15: Senaryo-24 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



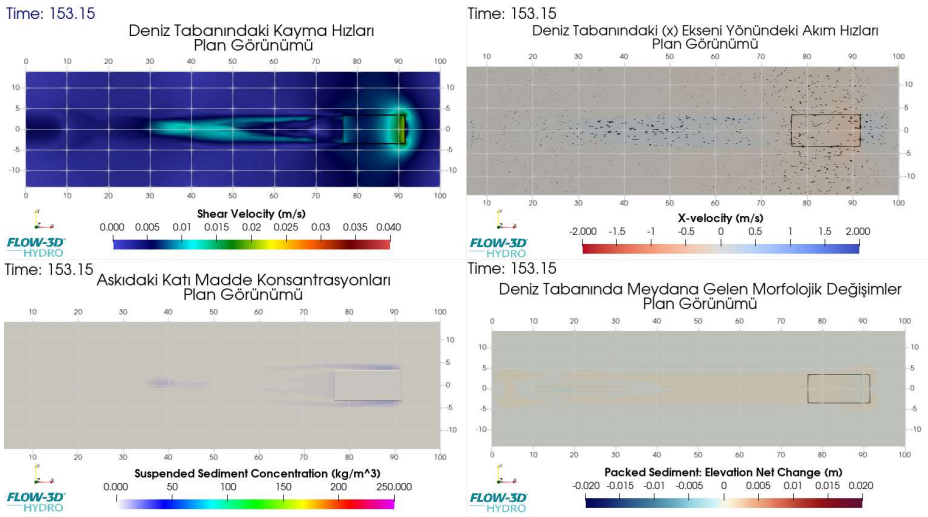
Şekil B. 16: Senaryo-25 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



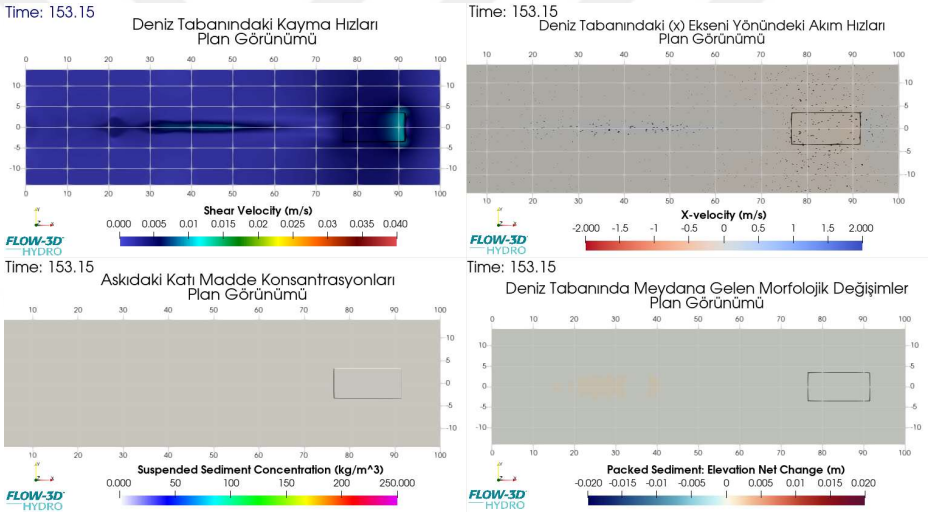
Şekil B. 17: Senaryo-27 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



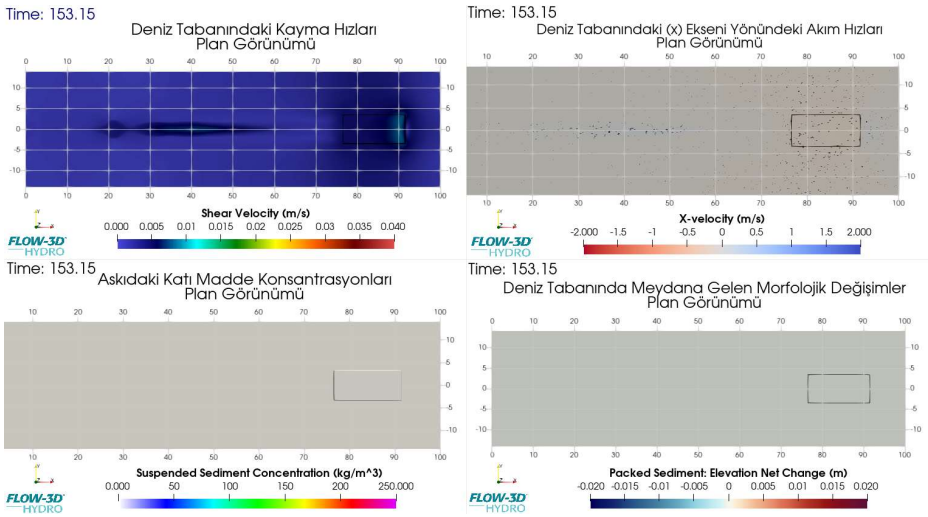
Şekil B. 18: Senaryo-28 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



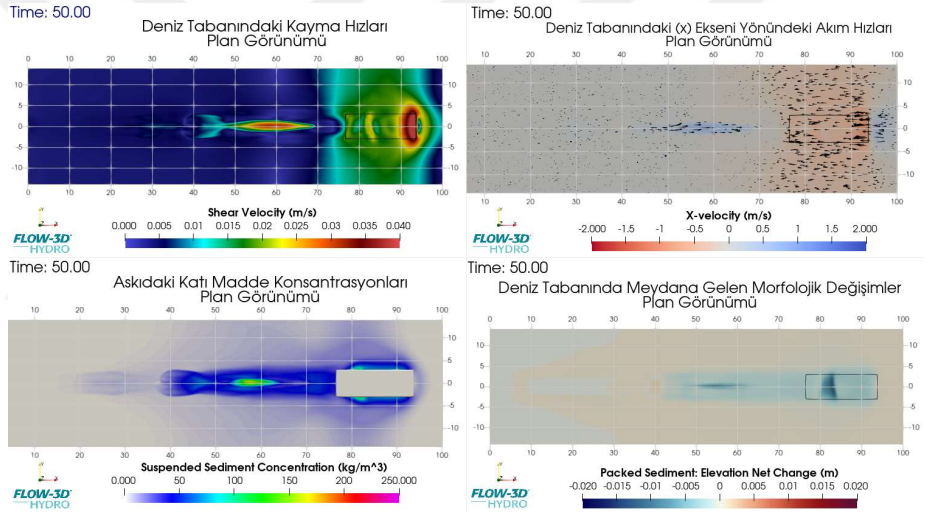
Şekil B. 19: Senaryo-29 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



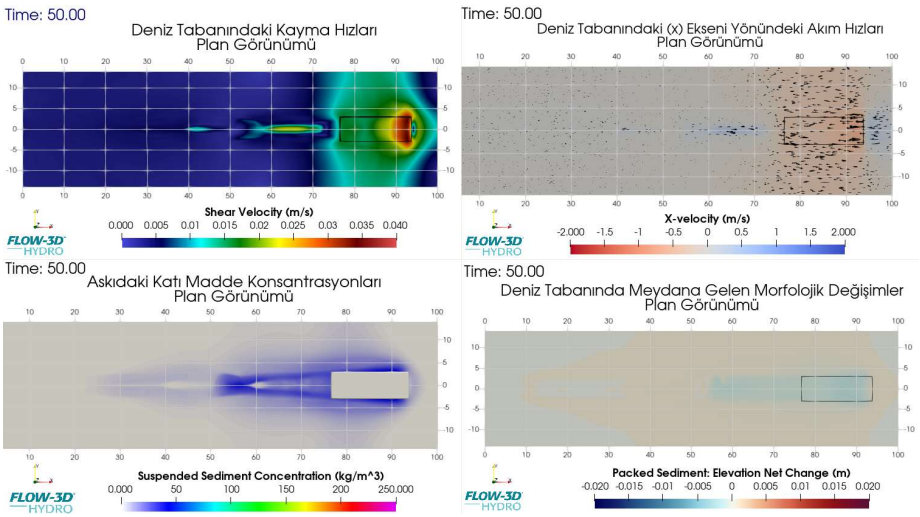
Şekil B. 20: Senaryo-31 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



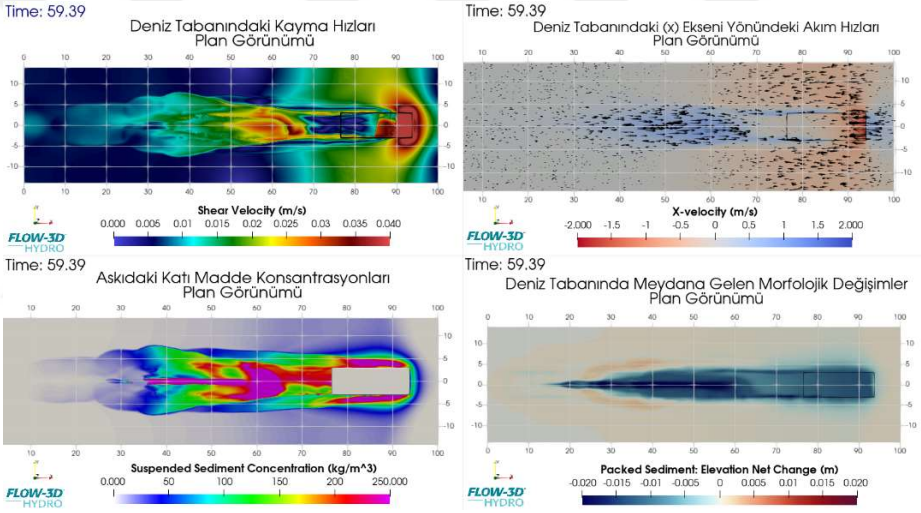
Şekil B. 21: Senaryo-32 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



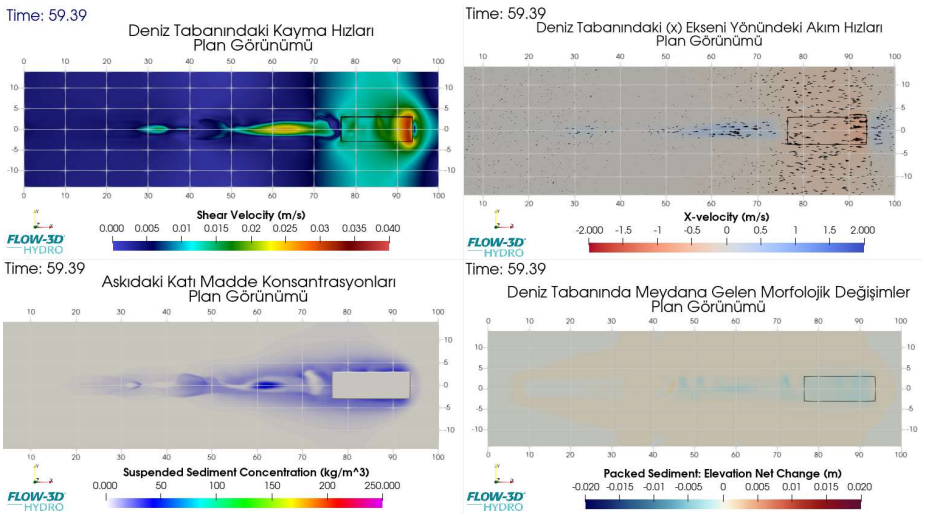
Şekil B. 22: Senaryo-35 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



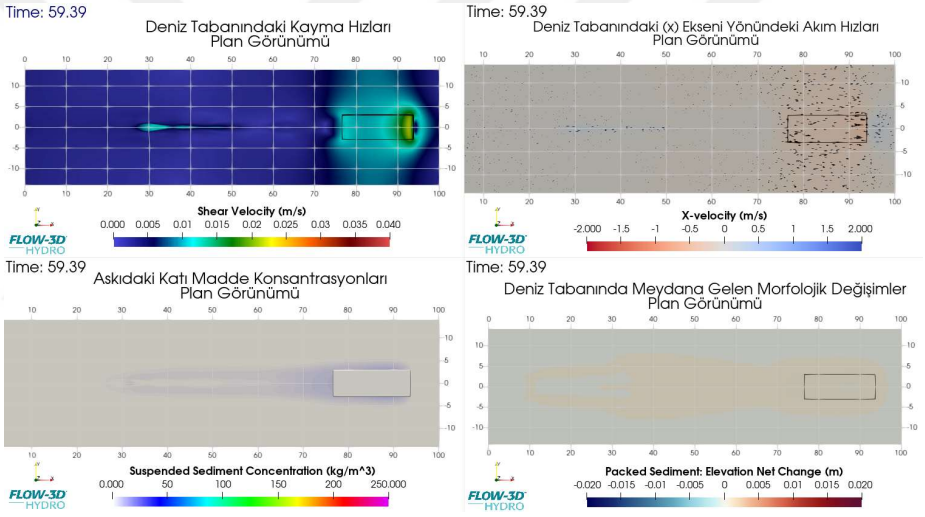
Şekil B. 23: Senaryo-36 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



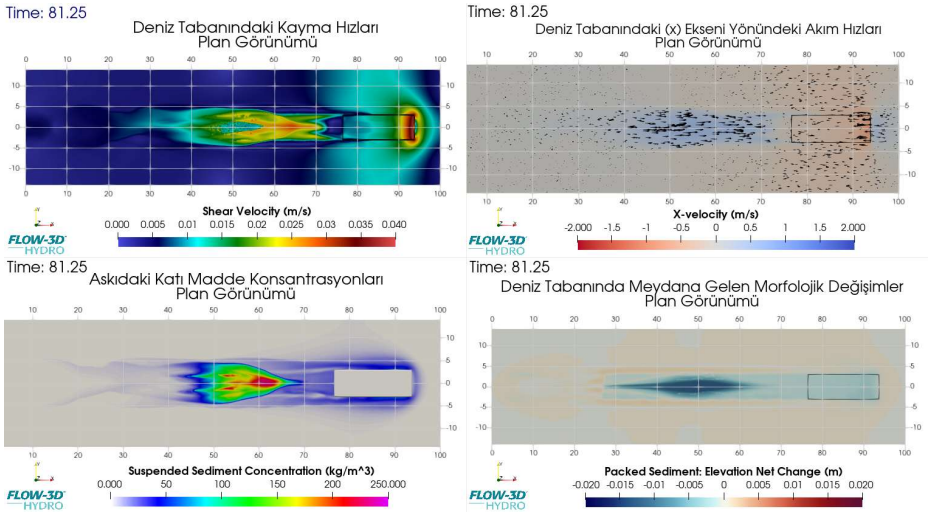
Şekil B. 24: Senaryo-37 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



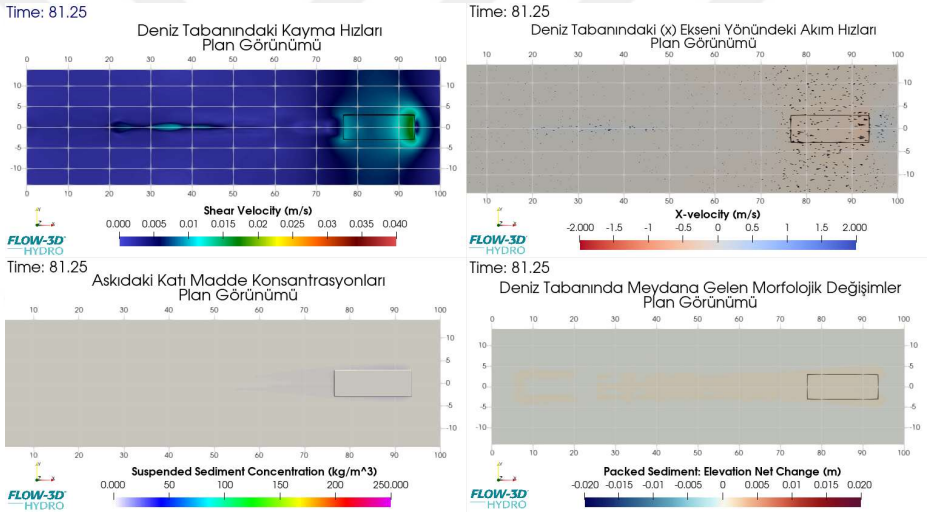
Şekil B. 25: Senaryo-39 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



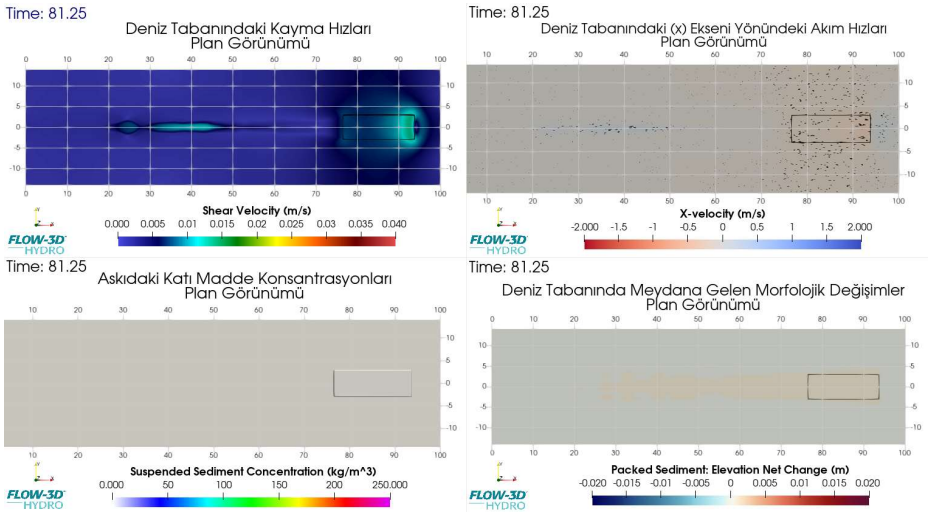
Şekil B. 26: Senaryo-40 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



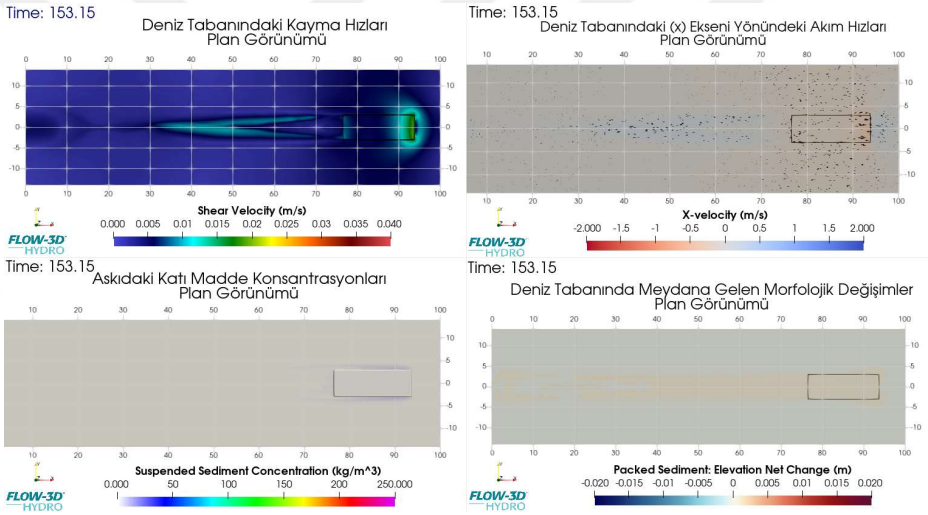
Şekil B. 27: Senaryo-41 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



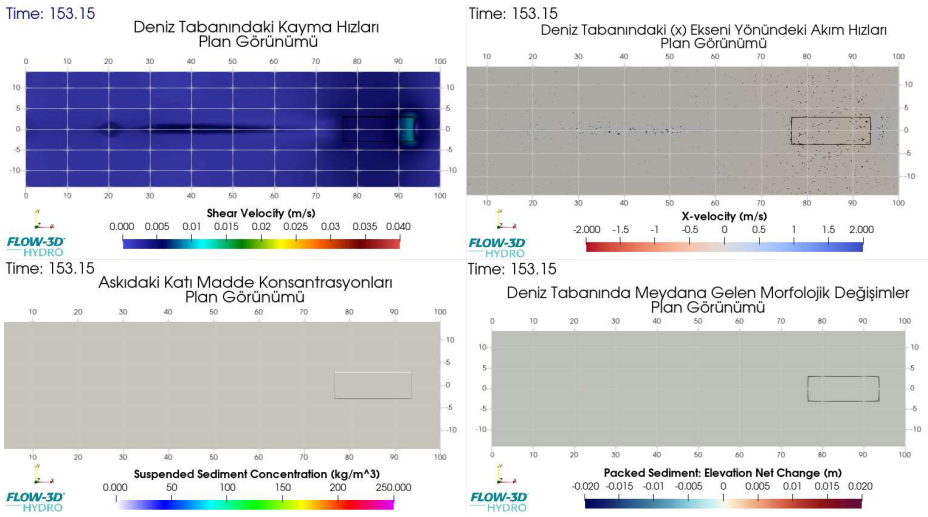
Şekil B. 28: Senaryo-43 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



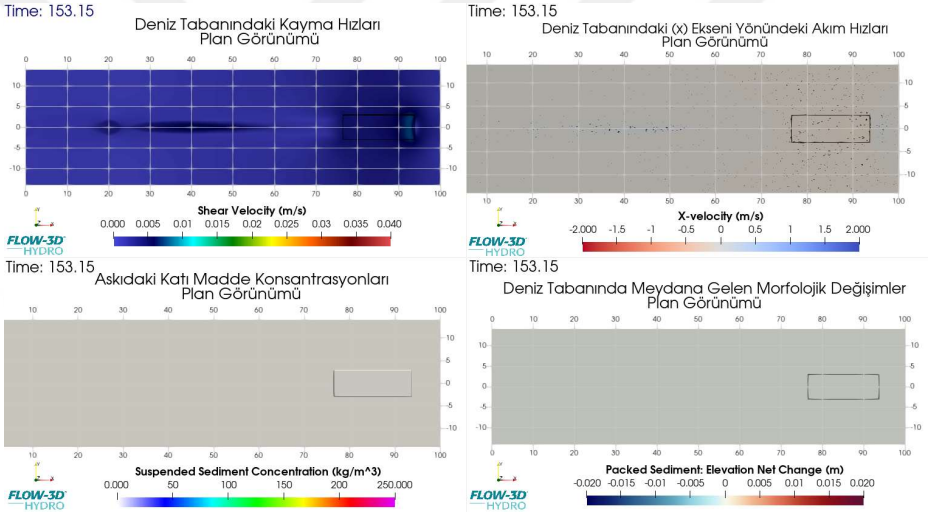
Şekil B. 29: Senaryo-44 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



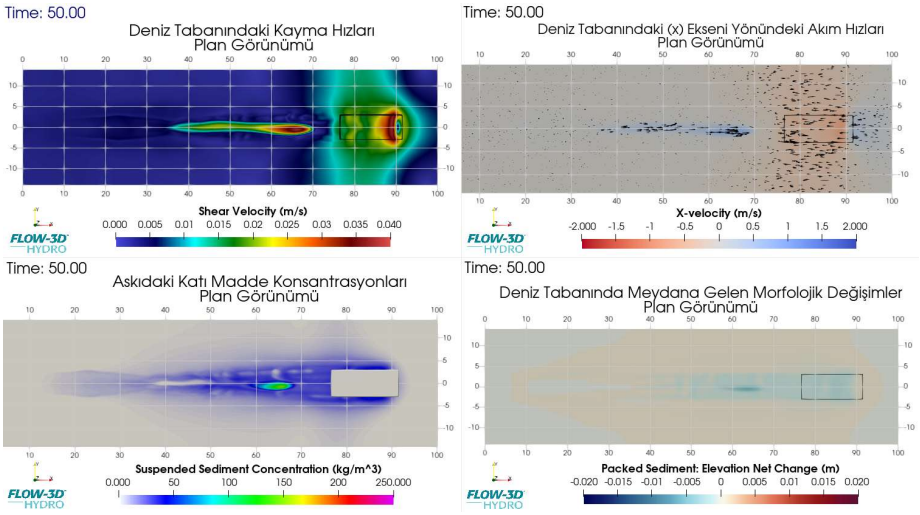
Şekil B. 30: Senaryo-45 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



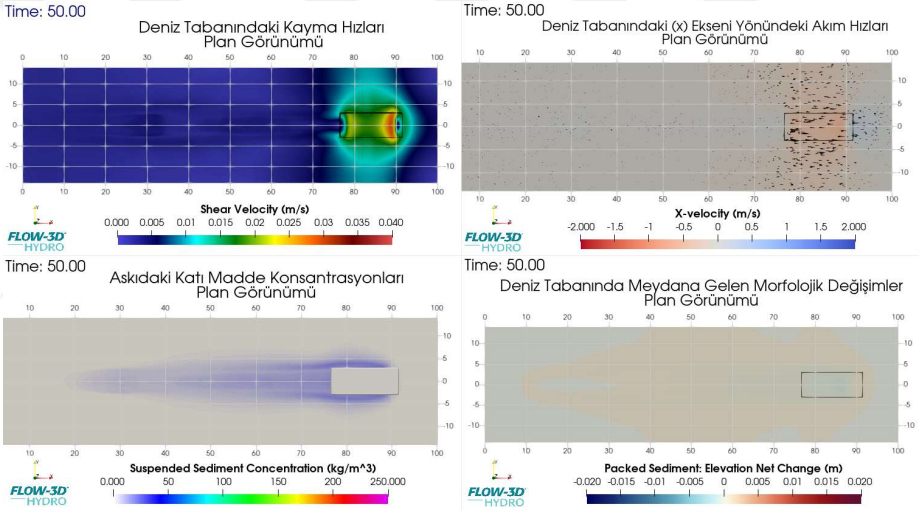
Şekil B. 31: Senaryo-47 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



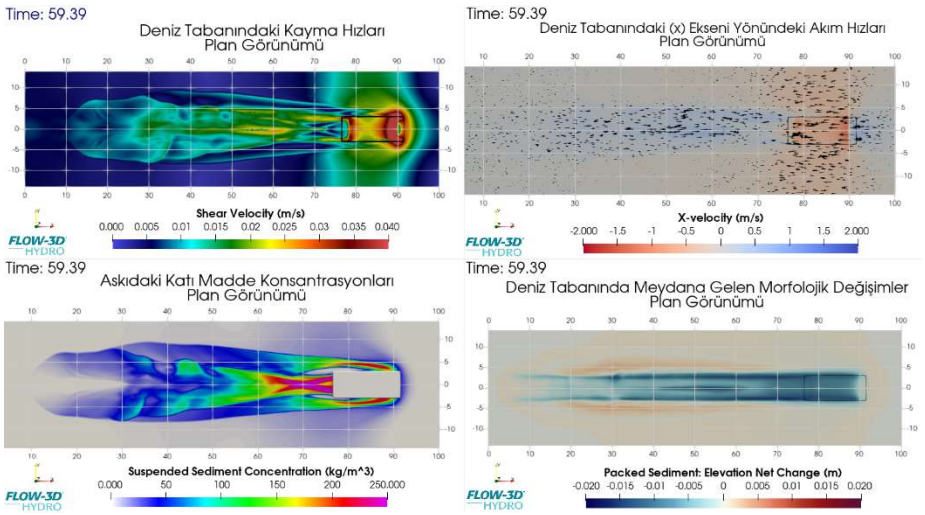
Şekil B. 32: Senaryo-48 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



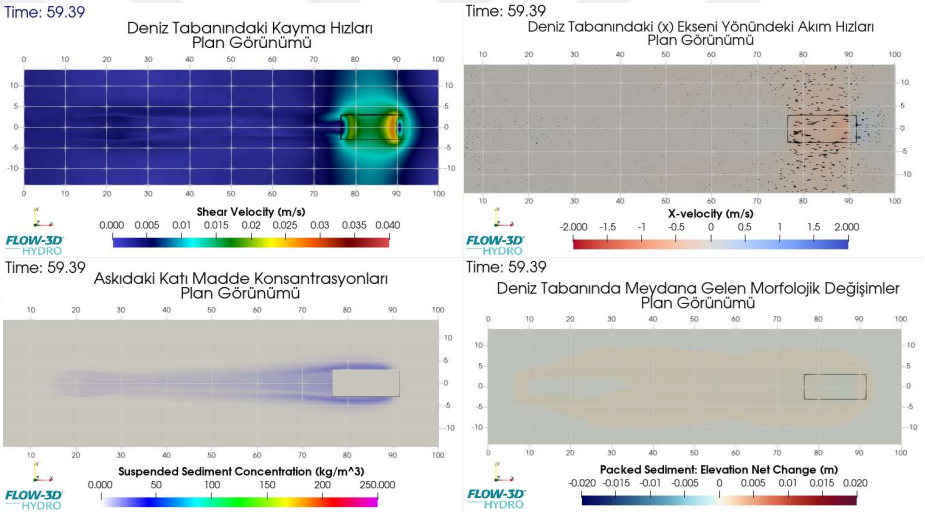
Şekil B. 33: Senaryo-51 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



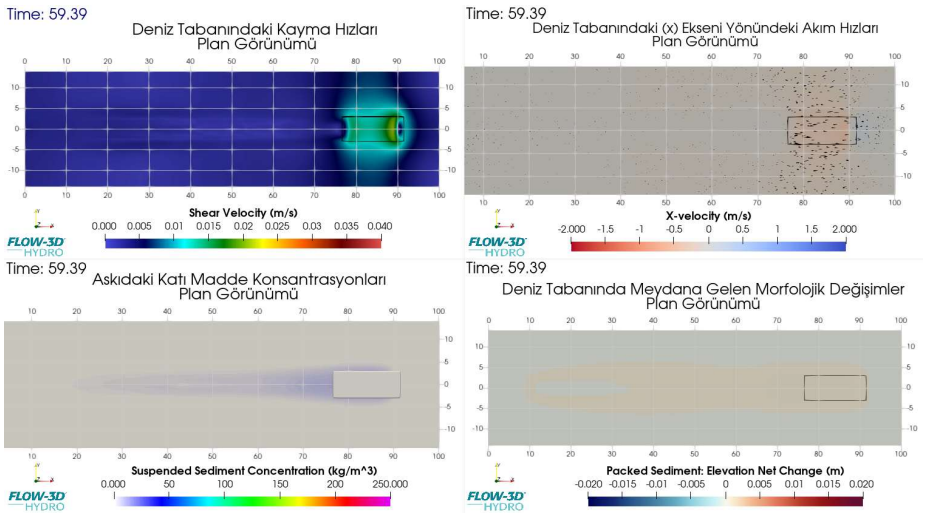
Şekil B. 34: Senaryo-52 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



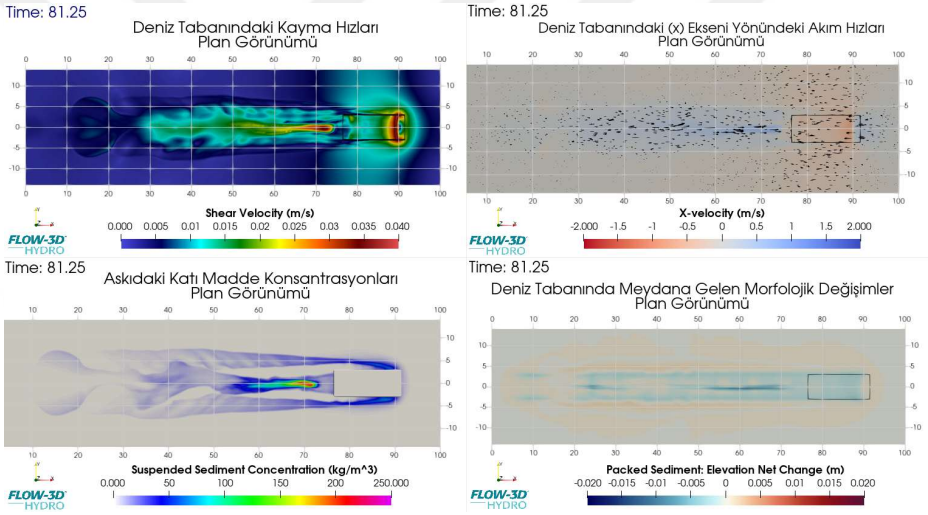
Şekil B. 35: Senaryo-53 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



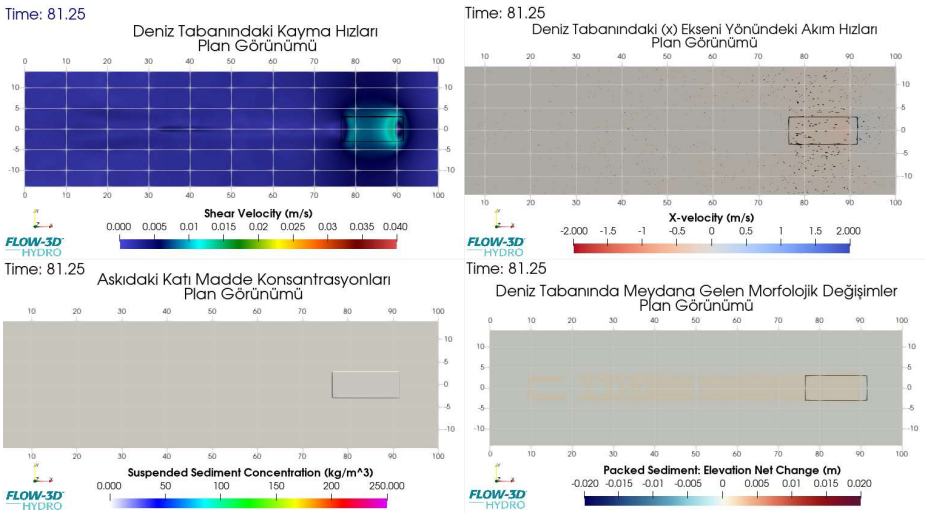
Şekil B. 36: Senaryo-55 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



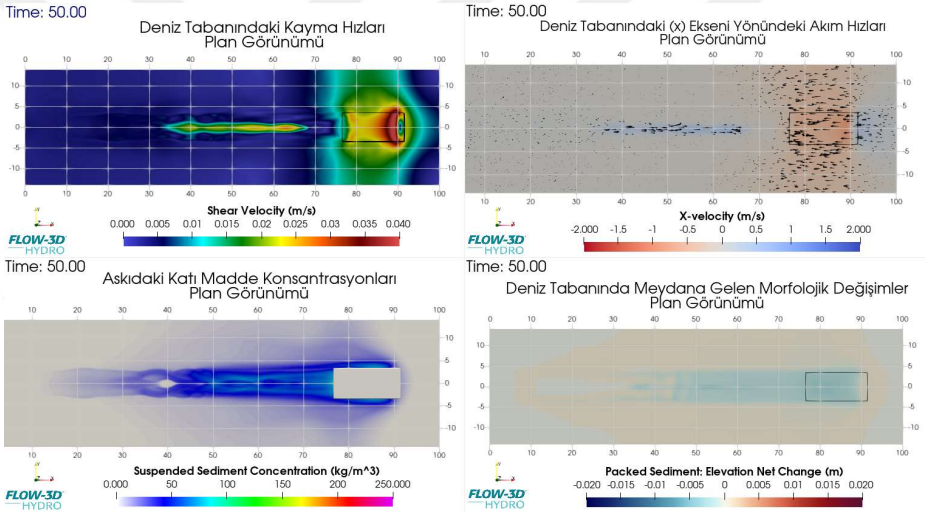
Şekil B. 37: Senaryo-56 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



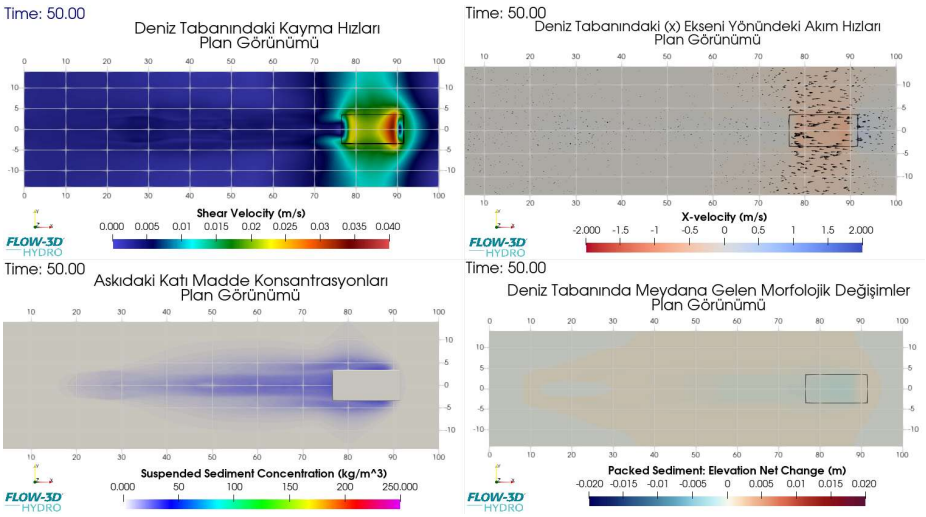
Şekil B. 38: Senaryo-57 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



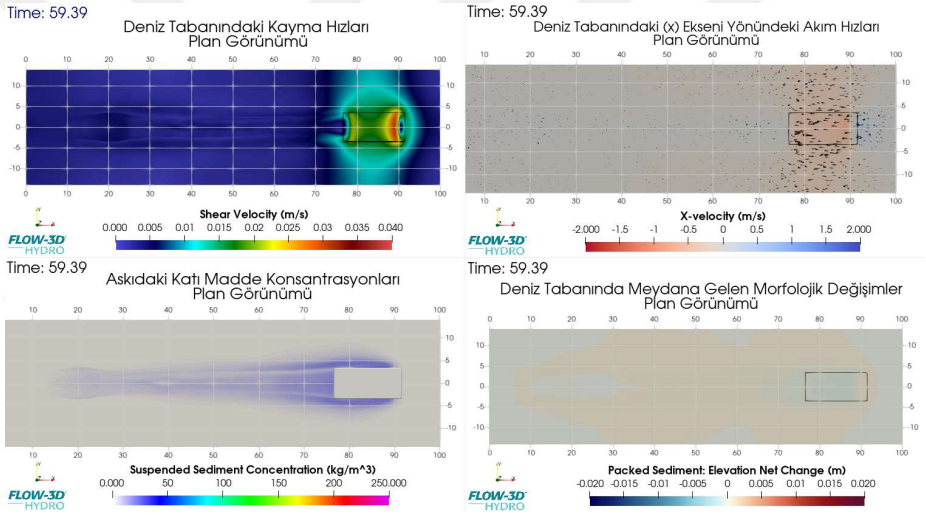
Şekil B. 39: Senaryo-60 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



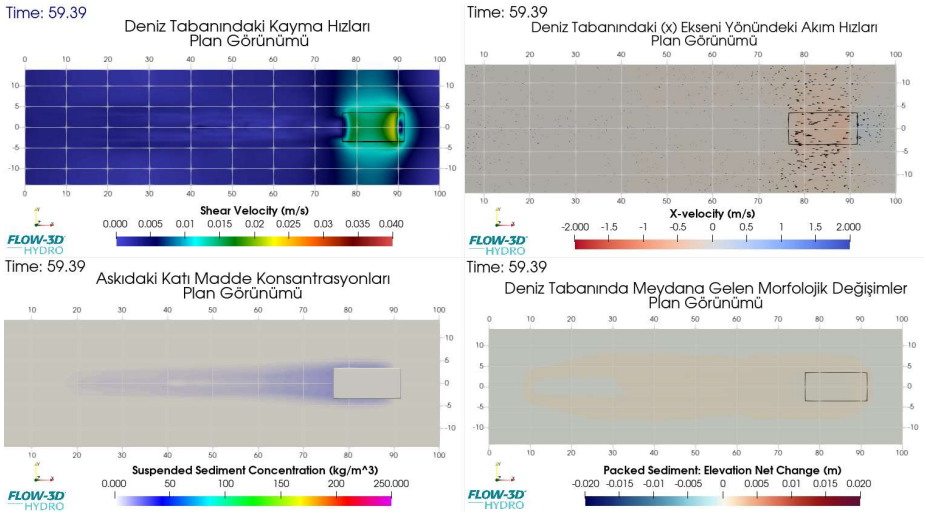
Şekil B. 40: Senaryo-67 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



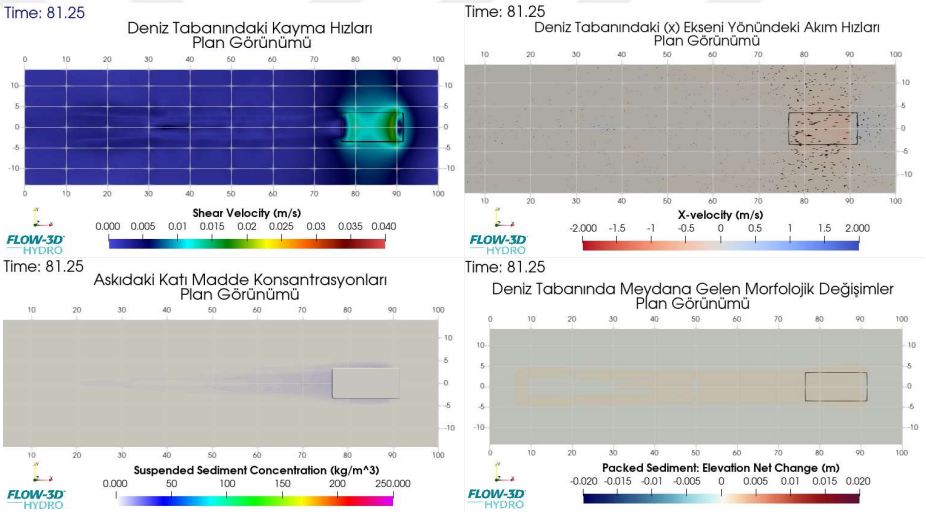
Şekil B. 41: Senaryo-68 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



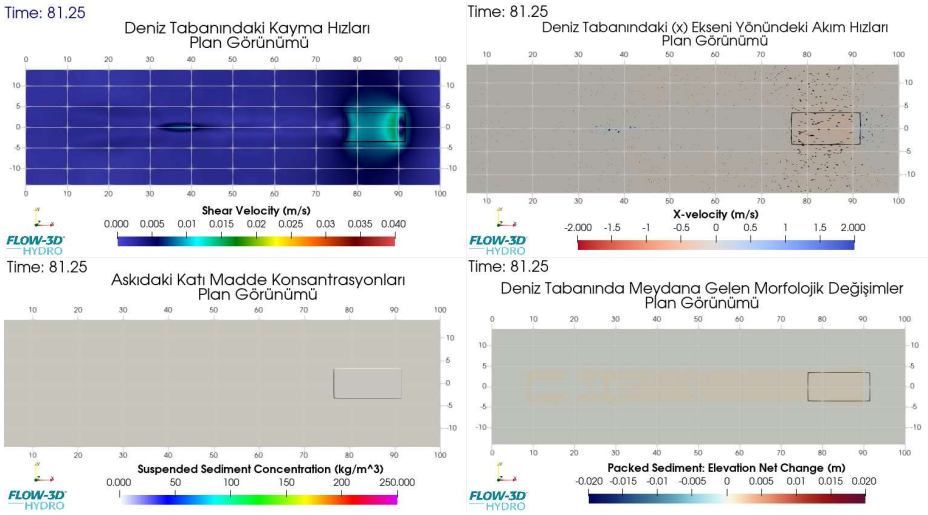
Şekil B. 42: Senaryo-71 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



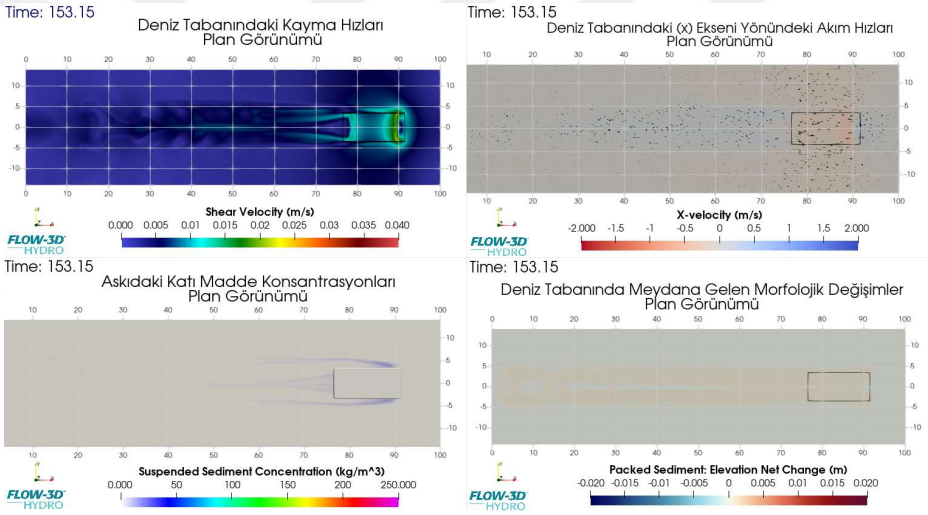
Şekil B. 43: Senaryo-72 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



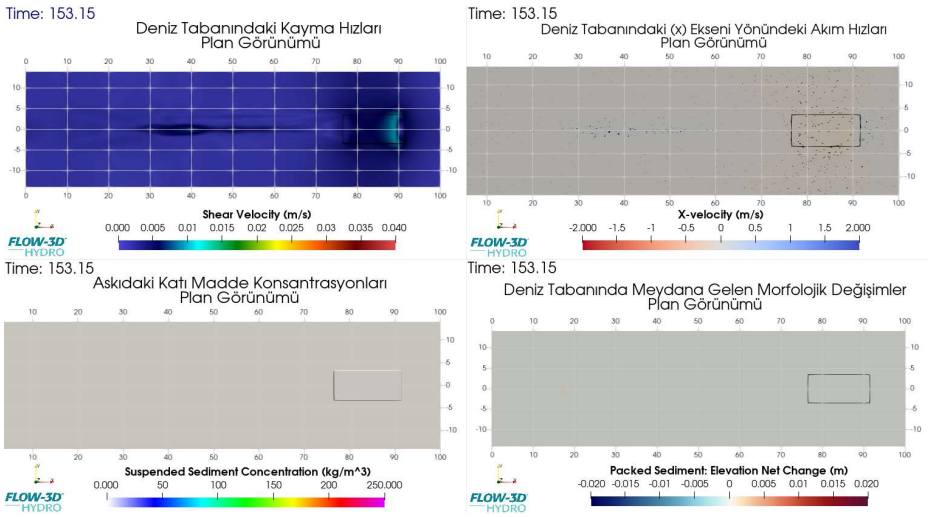
Şekil B. 44: Senaryo-75 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



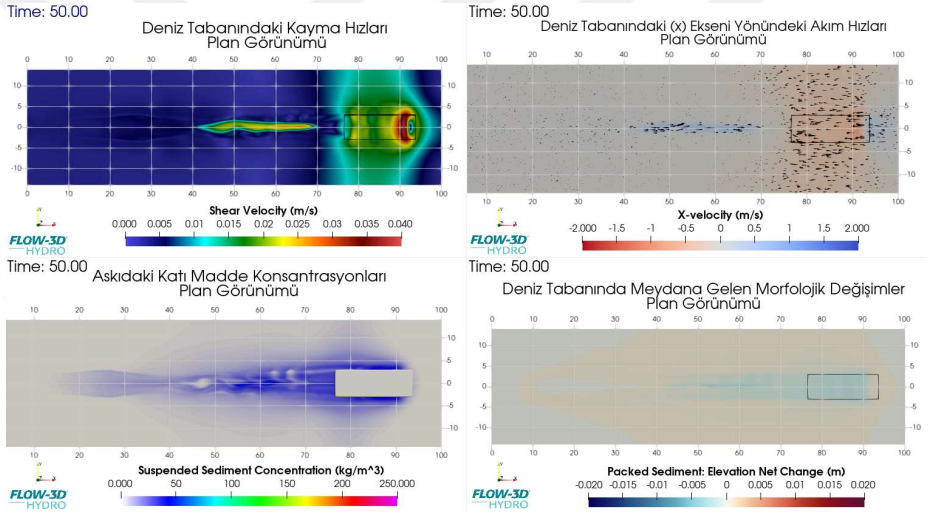
Şekil B. 45: Senaryo-76 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



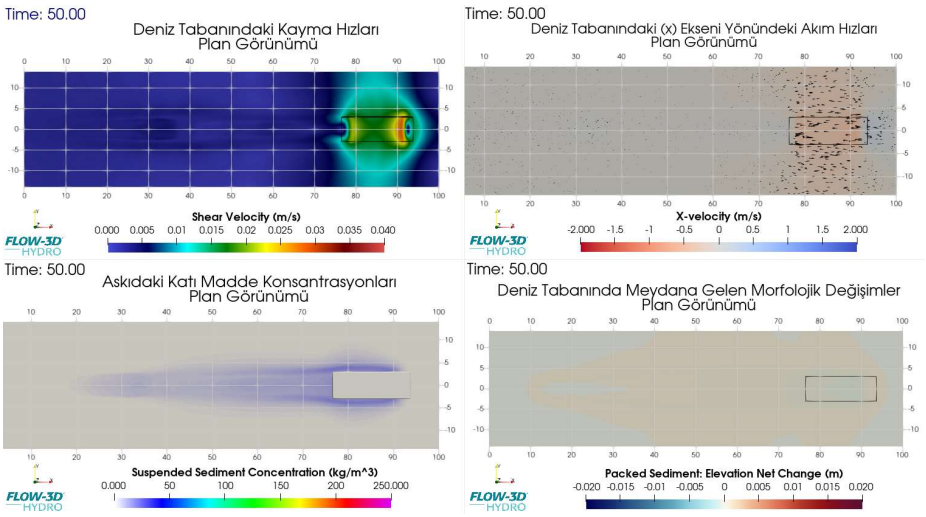
Şekil B. 46: Senaryo-77 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



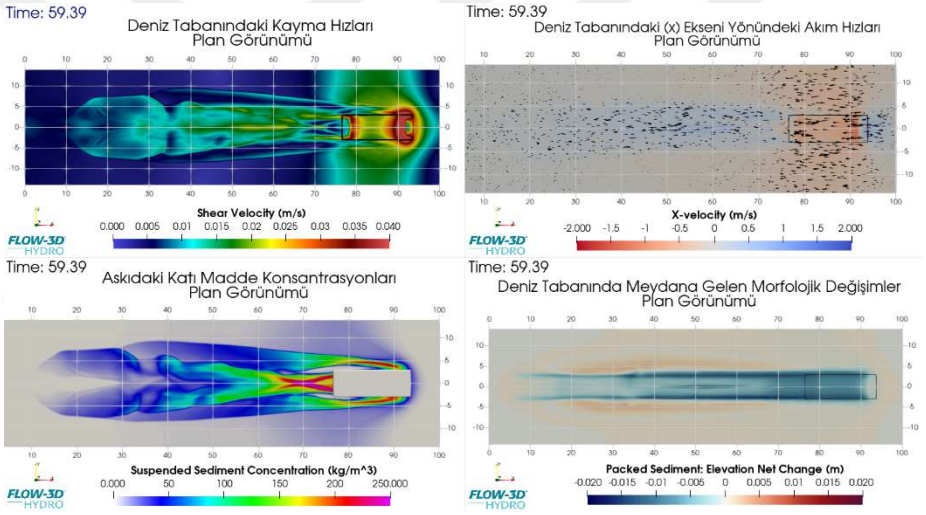
Şekil B. 47: Senaryo-79 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



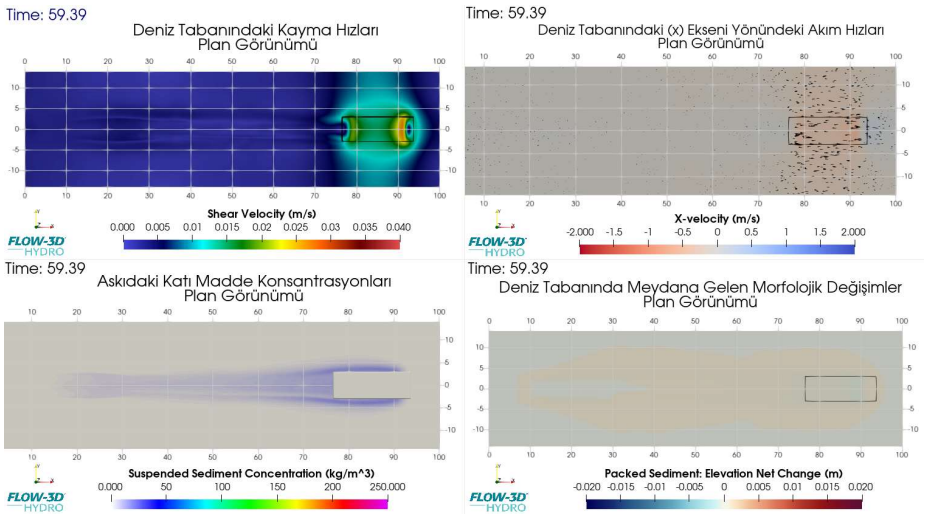
Şekil B. 48: Senaryo-83 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



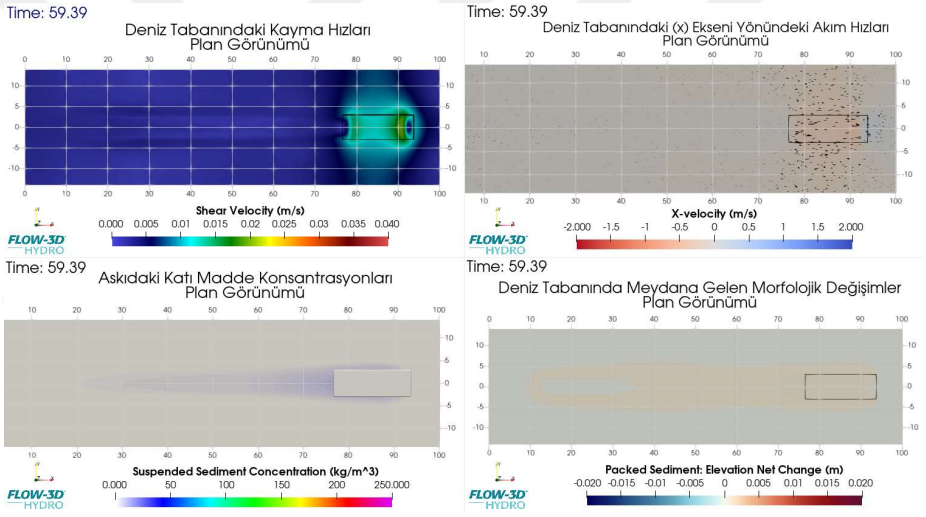
Şekil B. 49: Senaryo-84 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



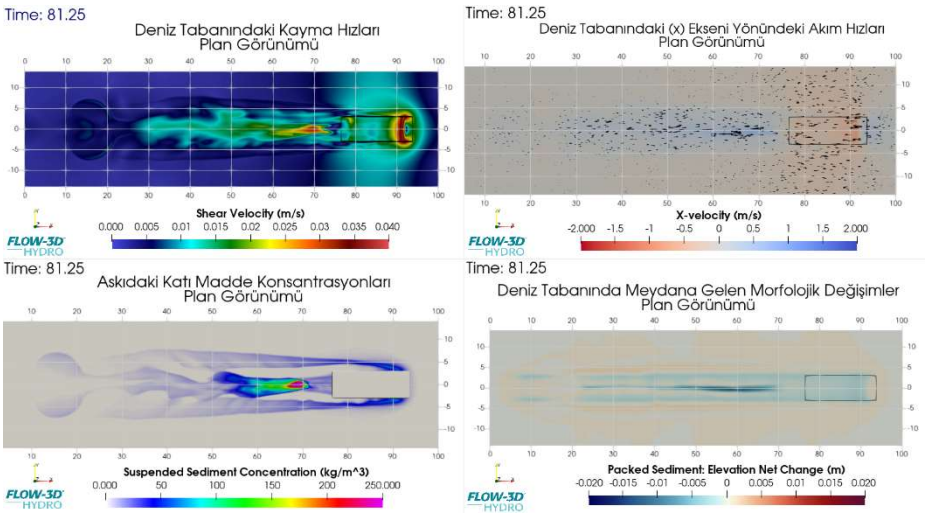
Şekil B. 50: Senaryo-85 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



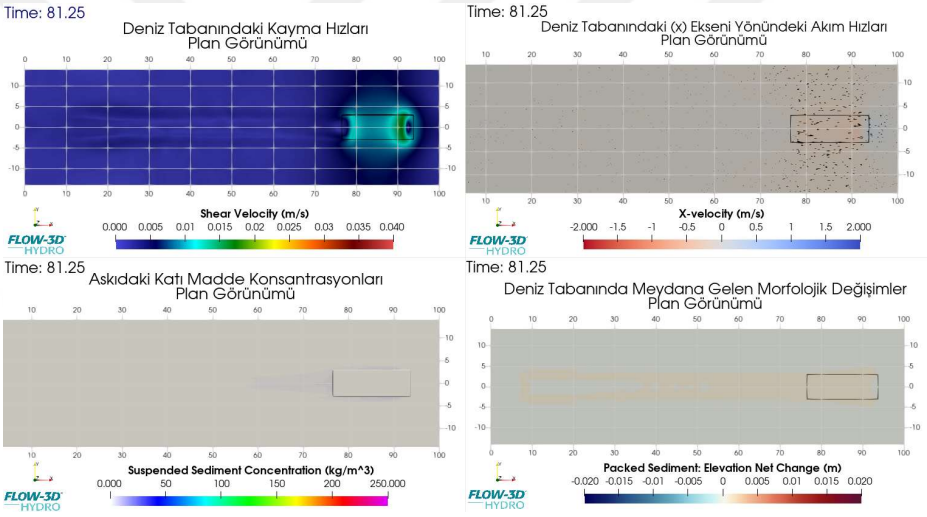
Şekil B. 51: Senaryo-87 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



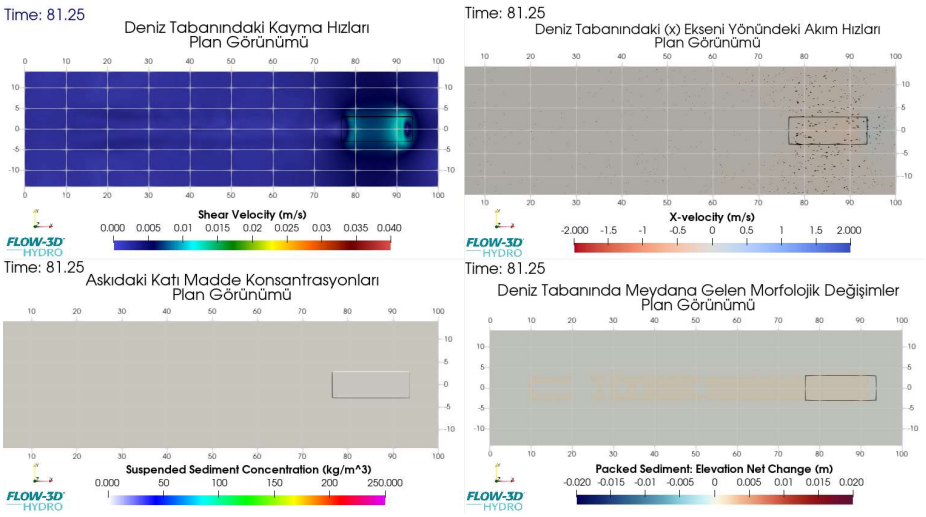
Şekil B. 52: Senaryo-88 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



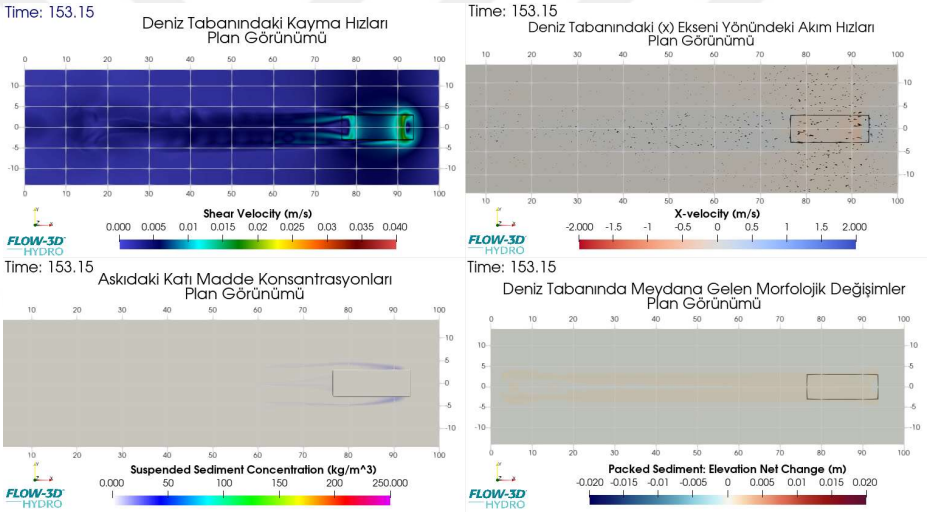
Şekil B. 53: Senaryo-89 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



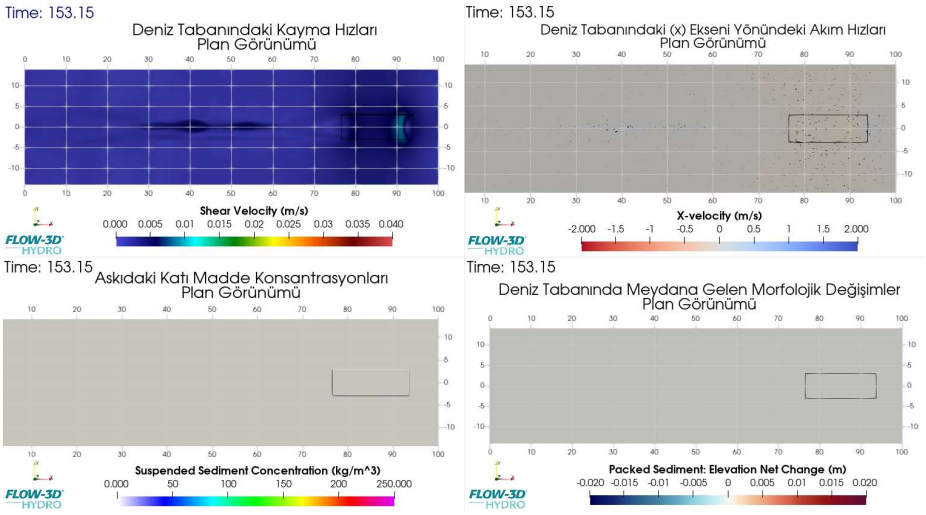
Şekil B. 54: Senaryo-91 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



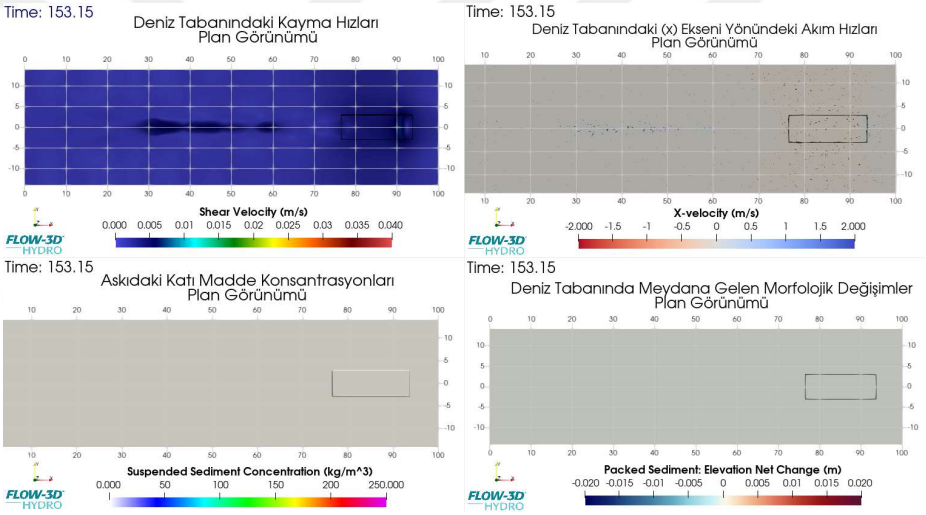
Şekil B. 55: Senaryo-92 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



Şekil B. 56: Senaryo-93 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



Şekil B. 57: Senaryo-95 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.



Şekil B. 58: Senaryo-96 için modelleme zamanı sonunda çalışma alanında meydana gelen hidromorfolojik etkiler, deniz tabanındaki kayma hızları ve x-ekseni doğrultusundaki akım hızları ve yönleri.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Onur BORA

Doğum tarihi ve yeri :

e-posta :

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi /Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği	2008-2011
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2003-2007
Lise	Fatma Emin Kutvar Anadolu Lisesi	1999-2003

Yayın Listesi

Bora, O., Kabdaşlı, M. S., Gedik, N. ve İrtem, E. (basımda). Floating Object Induced Hydro-morphological Effects in Approach Channel. *Fractional Calculus: New Applications in Understanding Nonlinear Phenomena,* 235-253 **[Tezden türetilmiştir]**.

Bora, O., Kabdaşlı, S., Gedik, N. ve İrtem, E. (Kasım, 2018). Yaklaşım Kanalında ve Düz Bir Deniz Tabanına Sahip Çalışma Alanında Seyreden Motorsuz Bir Yüzer Cismin Meydana Getirdiği Hidromorfolojik Etkilerin İncelenmesi. *9. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu* içinde (s. 147-159), Adana **[Tezden türetilmiştir]**.

Bora, O., Kabdaşlı, S., Gedik, N. ve İrtem, E. (2018). Investigation of Hydro-morphodynamic Effects Caused by a Non-powered Floating Object Navigating in an Approach Channel. *3rd International Conference on Civil and Environmental Engineering*, İzmir **[Tezden türetilmiştir]**.

Bora, O., Yüce, A., Baykuş, B. M., Varol, E. Ö., ve Kabdaşlı, M. S. (2015). Marinalarda Basen İçi Su Sirkülasyonunun Yapay ve Cebri Yöntemler Yardımıyla Sağlanmasına Yönelik Örnek Uygulamalar. *2. Ulusal Liman Kongresi* içinde, İzmir.

Ince, O., Kabdasli, S., Varol, O. E., Bora, O., Girgin, M., Balcin, M., and Ozbayram, E. G. (2014). Flood risk modelling for Ergene Basin. *Proceedings of the Second International Conference on Sustainable Watershed Management* (SUWAMA 14).

Yüce, A., Bora, O., Baykuş, B. M., Varol, E. Ö., ve Kabdaşlı, M. S. (Kasım, 2014). Gürcistan Küçük Tekne Limanı Farklı Genel Yerleşim Planı Alternatiflerinin Sayısal Modelleme Yolu İle Kumlanma Potansiyeli Açısından Karşılaştırılması. *8. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu* içinde (s. 789-800), İstanbul.