



T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ezgi AKBUDAK

**ÇOKLU DİZİLİMLİ YAPIDAKİ TORPİDO
BENZERİ MODELLERİN ÇEVRESİNDE
OLUŞAN AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI**

OSMANİYE – 2023

**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇOKLU DİZİLİMLİ YAPIDAKİ TORPİDO BENZERİ
MODELLERİN ÇEVRESİNDE OLUŞAN AKIŞ
KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Ezgi AKBUDAK

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**OSMANİYE
EYLÜL-2023**

TEZ ONAYI

ÇOKLU DİZİLİMLİ YAPIDAKİ TORPİDO BENZERİ MODELLERİN ÇEVRESİNDE OLUŞAN AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ezgi AKBUDAK tarafından Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Enerji Sistemleri Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Fırat EKİNCİ
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, ATÜ

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Osman KARA
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../.....tarihi ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu tez çalışması, OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP-2022-PT2-043) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK, Proje No: 214M318) tarafından desteklenmiştir. Prof. Dr. Muammer Özgören bu yüksek lisans tez çalışmasını ikinci danışmanı ve 214M318 nolu projenin yürütücüsüdür.

Bu tezde kullanılan bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Ezgi AKBUDAK



ÖZET

ÇOKLU DİZİLİMLİ YAPIDAKİ TORPİDO BENZERİ MODELLERİN ÇEVRESİNDE OLUŞAN AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ İ

Ezgi AKBUDAK

Yüksek Lisans, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE

Eylül 2023, 109 sayfa

Bu tez çalışmasında, akışkanlar mekaniği uygulamalarının hayatın pek çok alanına etkilemesinden ilham alınmıştır. Akışkanlar mekaniği alanında silindirik, dairesel, kare, üçgen, eliptik ve küt kesite sahip cisimler etrafındaki akış özellikleriyle ilgili çalışmalar yaygın olarak yapılmıştır. Akışkan-yapı etkileşimleri sonucunda akışkan üzerinde oluşan akış karakteristiklerini incelemek uçaklar, arabalar, gemiler, denizaltıları gibi hayatın birçok alanında kolaylık sağlamaktadır. Geometriler üzerinde oluşabilecek aerodinamik ve hidrodinamik etkiler bu çalışmalarla minimum düzeye indirilebilmektedir. Torpidolar, denizaltıları ve otonom sualtı araçları (AUV) su altında hareket ederken depolanan sınırlı enerji ile hedeflerine ulaşmak zorundadır. Belirlenen hedefe ulaşabilmek için sürüklenme direncinin azaltılması, akış ayrılmaları, girdap saçılması ve türbülans etkileri gibi akış özelliklerinin bilinmesi ve kontrol edilmesi oldukça önemlidir. Bu tez çalışmasında ise torpido benzeri geometriye sahip otonom su altı araçlarının tandem düzende, iki farklı burun yapısında model çevresinde oluşan akış karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Tandem düzende Reynolds 20000 de $0 \leq G/L \leq 0.6$ mesafe oranında yerleştirilmiş geometrilerin mesafe açıklıkları arttıkça akış etkileşimleri azalma göstermiştir. Eliptik ve Küt burun yapılarındaki fiziki farklılıkların akışı etkilediği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Torpido, PIV, Akış karakteristiği, Art izi bölgesi, Akış ayrılması

ABSTRACT

INVESTIGATION OF FLOW CHARACTERISTICS OCCURING AROUND THE TORPIDO-LIKE MODELS WITH TANDEM ARRANGEMENTS

Ezgi AKBUDAK

Md.se., Department of Energy Systmes Engineering

Supervisor: Assoc. Dr. Bülent YANIKTEPE

September 2023, 109 papes

This thesis study was inspired by the effects of fluid mechanics applications on many areas of life. In the field of fluid mechanics, studies on the flow properties around cylindrical, circular, square, triangular, elliptical and blunt cross-sections have been widely carried out. Examining the flow characteristics on the fluid as a result of fluid-structure interactions provides convenience in many areas of life such as airplanes, cars, ships, and submarines. Aerodynamic and hydrodynamic effects that may occur on geometries can be minimized by these studies. Torpedoes, submarines and autonomous underwater vehicles (AUV) have to reach their targets with limited energy stored while moving underwater. It is very important to know and control the flow properties such as reduction of drift resistance, flow separations, eddy scattering and turbulence effects in order to achieve the determined target. In this thesis, the flow characteristics of autonomous underwater vehicles with torpedo-like geometry in tandem order and around the model in two different nose structures were experimentally investigated. The flow interactions of the geometries placed in tandem order at the distance ratio of $0 \leq G/L \leq 0.6$ in Reynolds 20000 increased as the distance gaps increased. It has been observed that the physical differences in the elliptical and blunt nose structures affect the flow.

Key Words: Torpedo, PIV, Flow characteristic, Wake region, Flow separation



Çok kıymetli aileme...

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konumun belirlenerek tez çalışmamın yürütülmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Danışman: Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın her aşamasında mesafe ve zaman gözetmeksizin her türlü desteğini esirgemeyen aynı zamanda ikinci tez danışmanım değerli bilim insanı Prof. Dr. Muammer ÖZGÖREN'e teşekkür ederim.

Çalışmalarımın her aşamasında gece gündüz beraber çalıştığım desteklerini esirgemeyen Öğr. Gör. Ertuğrul ŞEKEROĞLU'na ve Ömer KENAN'a teşekkür ederim.

Çalışmamı yürüttüğüm süre boyunca destek ve bilgisini benden esirgemeyen Fuad SARIĞIGÜZEL'e teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca ve çalışmalarım süresince her an maddi manevi bütün destekleri veren ve daima motivasyonumu sağlayan değerli aileme yaptıkları bütün fedakarlıklarından dolayı çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İTHAF SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM	14
3.1. Torpido Benzeri Geometri Parametreleri	14
3.2. Su Kanalı Sistemi	16
3.3. Görüntülemeli Akış Hızı Ölçme (PIV) Sistemi.....	18
3.4. Deney Alanı Görüntüleme.....	20
3.5. Deneysel Sistemin Kuruluşu	20
3.6. Kalibrasyon	21
3.7. Parçacık Görüntü Hızı Deneylerinin Alınması ve İşlenmesi.....	22
3.8. Akış Karakteristiklerinin Bulunması	25
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	27
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	91
KAYNAKÇA.....	100
ÖZGEÇMİŞ	107

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türk Deniz Kuvvetleri Envanterinde mevcut ROV.....	2
Şekil 1.2. Türk Deniz Kuvvetlerinin envanterinde mevcut torpido ve roketler.....	3
Şekil 3.1. Torpido benzeri geometrilerin burun ve orta gövde profilleri tasarım parametreleri.....	15
Şekil 3.2. Eliptik burun yapısına sahip torpido benzeri geometri.....	15
Şekil 3.3. Eliptik burun yapısına sahip torpido benzeri geometrinin 3D görüntüsü..	15
Şekil 3.4. Küt burun yapısına sahip torpido benzeri geometri.....	16
Şekil 3.5. Küt burun yapısına sahip torpido benzeri geometrinin 3D görüntüsü.....	16
Şekil 3.6. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi ileri akışkanlar mekaniği PIV laboratuvarının fotoğrafı [21].....	17
Şekil 3.7. PIV laboratuvarı genel görünümü.....	17
Şekil 3.8. PIV laboratuvarı pleksiglass malzeme duvarına sahip deney alma kesiti	18
Şekil 3.9. (a) $G/L = 0$ oranında Küt burunlu, (b) $G/L = 0.225$ oranında Eliptik buruna sahip torpidoların CCD Kamera görüntüsü.....	20
Şekil 3. 10. Model mesafelerinin ayarlandığı dijital ekranlı platform	21
Şekil 3.11. Modeller arası mesafelerin ayarlandığı dijital ekranlı platformun su kanalı üzerindeki konumu.....	21
Şekil 3.12. Su tünelinin içine yerleştirilen torpido benzeri geometri ile paralel konuma getirilen kalibrasyon tahtası	22
Şekil 3.13. Deney kesit alanının yan görünüşü	24
Şekil 3.14. Eliptik burun yapısına sahip iki torpido benzeri geometrinin deneysel konumlandırılması.....	24
Şekil 4.1.a. Üniorm akış şartlarında eliptik ve küt burun yapısında kanatsız kuyruğa sahip torpido benzeri geometrilerin $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına bağlı çevresinde oluşan akışın PIV deneylerinin anlık hız vektör (V) alanlarının karşılaştırılması.....	49
Şekil 4.1.b. Üniorm akış şartlarında eliptik ve küt burun yapısında kanatsız kuyruğa sahip torpido benzeri geometrilerin $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına bağlı çevresinde oluşan akışın PIV deneylerinin anlık hız vektör (V) alanlarının karşılaştırılması.....	50
Şekil 4.2.1.a. Üniorm akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri	

geometrilerin PIV deneylerinin zaman ortalama hız vektör $\langle V \rangle$ alanlarının karşılaştırılması	51
Şekil 4.2.1.b. Üniform akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin zaman ortalama hız vektör $\langle V \rangle$ alanlarının karşılaştırılması	53
Şekil 4.2.2.b. Üniform akış şartlarında küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin zaman ortalama hız vektör $\langle V \rangle$ alanlarının karşılaştırılması	54
Şekil 4.3.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin anlık girdap (wL/U_∞) konturlarının karşılaştırılması	55
Şekil 4.3.b. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin anlık girdap (wL/U_∞) konturlarının karşılaştırılması.....	56
Şekil 4.4.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama girdap $\langle wL/U_\infty \rangle$ konturlarının karşılaştırılması	57
Şekil 4.4.b Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama girdap $\langle wL/U_\infty \rangle$ konturlarının karşılaştırılması	58
Şekil 4.5.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama türbülans kinetik enerji konturları $\langle T.K.E/U_\infty^2 \rangle$ karşılaştırılması.....	59
Şekil 4.5.b. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri	

geometrilerin PIV deneylerinin ortalama türbülans kinetik enerji konturları $< T.K.E/U_{\infty}^2 >$ karşılaştırılması.....	60
Şekil 4.6.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama reynolds gerilme korelasyonu çalkantı konturları $< u'v'/U_{\infty}^2 >$ karşılaştırılması.....	61
Şekil 4.6.b. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama reynolds gerilme korelasyonu çalkantı konturları $< u'v'/U_{\infty}^2 >$ karşılaştırılması.....	62
Şekil 4.7.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım yönündeki hız bileşeni konturları $< u/U_{\infty} >$ karşılaştırılması.....	63
Şekil 4.7.b. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım yönündeki hız bileşeni konturları $< u/U_{\infty} >$ karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.8.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım yönündeki dik hız bileşeni konturları $< v/U_{\infty} >$ karşılaştırılması.....	65
Şekil 4.8.b. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım yönündeki dik hız bileşeni konturları $< v/U_{\infty} >$ karşılaştırılması	66
Şekil 4.9.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım çizgilerinin $< \Psi >$ karşılaştırılması	67
Şekil 4.9.b. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri	

geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım çizgilerinin $\langle \Psi \rangle$ karşılaştırılması	68
Şekil 4.10.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım yönündeki hız bileşeni türbülans çalkantı konturları $\langle u_{rms} / U_{\infty} \rangle$ karşılaştırılması	69
Şekil 4.10.b. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım yönündeki hız bileşeni türbülans çalkantı konturları $\langle u_{rms} / U_{\infty} \rangle$ karşılaştırılması.....	70
Şekil 4.11.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım yönüne dik hız bileşeni türbülans çalkantı konturları $\langle v_{rms} / U_{\infty} \rangle$ karşılaştırılması	71
Şekil 4.11.b. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım yönüne dik hız bileşeni türbülans çalkantı konturları $\langle v_{rms} / U_{\infty} \rangle$ karşılaştırılması.....	72
Şekil 4.12.a. Üniform akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması.....	73
Şekil 4.12.b. Üniform akış şartlarında küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması.....	74
Şekil 4.13.a. Üniform akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.075$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması.....	75
Şekil 4.13.b. Üniform akış şartlarında küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.075$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki	

farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması.....	76
Şekil 4.14.a. Üniform akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L = 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması.....	77
Şekil 4.14.b. Üniform akış şartlarında küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L = 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması.....	78
Şekil 4.15.a. Üniform akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.225$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması.....	79
Şekil 4.15.b. Üniform akış şartlarında küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.225$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması.....	80
Şekil 4.16.a. Üniform akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.30$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması.....	81
Şekil 4.16.b. Üniform akış şartlarında küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.30$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması.....	82
Şekil 4.17.a. Üniform akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.45$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması.....	83
Şekil 4.17.b. Üniform akış şartlarında küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.45$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki	

farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması.....	84
Şekil 4.18.a. Üniform akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması.....	85
Şekil 4.18.b. Üniform akış şartlarında küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması.....	86
Şekil 4.19.a.1. Eliptik burun yapısına sahip torpido benzeri geometrinin $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranlarında Şekil 3.15’de belirtilen K, L, M istasyonlarında ortalama reynolds gerilme korelasyonu çalkantı konturları $\langle u'v'/U_\infty^2 \rangle$ üzerinde dikey çizgi grafikleri	87
Şekil 4.19.b.1. Küt burun yapısına sahip torpido benzeri geometrinin $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranlarında Şekil 3.15’de belirtilen K, L, M istasyonlarında ortalama reynolds gerilme korelasyonu çalkantı konturları $\langle u'v'/U_\infty^2 \rangle$ üzerinde dikey çizgi grafikleri.....	88
Şekil 4.19.a.2. Eliptik burun yapısına sahip torpido benzeri geometrinin $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranlarında Şekil 3.15’de belirtilen K, M, N, O, P istasyonlarında ortalama reynolds gerilme korelasyonu $\langle u'v'/U_\infty^2 \rangle$ üzerinde dikey çizgi grafikleri.....	89
Şekil 4.19.b.2. Küt burun yapısına sahip torpido benzeri geometrinin $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranlarında Şekil 3.15’de belirtilen K, M, N, O, P istasyonlarında ortalama reynolds gerilme korelasyonu çalkantı konturları $\langle u'v'/U_\infty^2 \rangle$ üzerinde dikey çizgi grafikleri.....	90

SİMGELER ve KISALTMALAR

AUV	Autonomous Underwater Vehicle	(–)
CCD Camera	Charged Couple Device Camera	(–)
CFD	Computational Fluid Dynamics	(–)
D	Torpedo benzeri geometrinin çapı	(–)
DSH	Denizaltı Savunma Harbi	(–)
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü	(–)
G	Torpedo benzeri geometriler arası mesafe	(mm)
GA1	Görüntüleme Alanı 1	(–)
GA2	Görüntüleme Alanı 2	(–)
HAD	Hesaplama Akışkanlar Dinamiği	(–)
L	Torpedo benzeri geometri uzunluğu	(mm)
L_N	Torpedo benzeri geometri burun uzunluğu	(mm)
L_H	Torpedo benzeri geometri gövde uzunluğu	(mm)
L_S	Torpedo benzeri geometri kuyruk uzunluğu	(mm)
LBM	Lattice Boltzmann Methodu	(–)
PIV	Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü	(–)
ROV	Remotely Operated Underwater Vehicle	(–)
RANS	Reynolds ortalama Navier- Stokes Denklemleri	(–)
Re	Reynolds sayısı	(–)
St	Strouhal sayısı	(–)
F	Frekans	(Hz)
d_p	Ortalama partikül çapını	(μm)
$r_N(x)$	L uzunluğuna göre burun kısmının yarı çap uzunluğu	(mm)
$r_S(x)$	L uzunluğuna göre kuyruk kısmının yarı çap uzunluğu	(mm)
U_∞	Üniform akış hızı	(m/s)
θ	Torpedo benzeri geometrinin kuyruk kısmının açısal Parametresi	(derece)
λ	Lazerin dalga boyu	(nm)
Δt	Zaman aralığı	(s)
v	Akım yönüne dik hız bileşeninin güç spektrumları	(–)

V	Anlık hız vektörü	(–)
$\langle V \rangle$	Ortalama hız vektörü	(–)
TKE	Ortalama boyutsuzlaştırılmış türbülans kinetik enerji	(–)
$\langle T.K.E/U_{\infty}^2 \rangle$	Ortalama boyutsuzlaştırılmış türbülans kinetik enerji	(–)
$\langle v/U_{\infty} \rangle$	Ortalama akım yönüne dik hız bileşeni	(–)
$\langle v_{rms}/U_{\infty} \rangle$	Ortalama akım yönüne dik yöndeki hız bileşeni	
	türbülans çalkantıları	(–)
$\langle u'v'/U_{\infty}^2 \rangle$	Ortalama Reynolds gerilme korelasyonu çalkantıları	(–)
$\langle u/U_{\infty} \rangle$	Ortalama akım yönündeki hız bileşeni	(–)
$\langle u_{rms}/U_{\infty} \rangle$	Ortalama akım yönündeki hız bileşeni	
	türbülans çalkantıları	(–)
$\langle \Psi \rangle$	Ortalama akım çizgileri	(–)
$\omega L/U_{\infty}$	Anlık girdap	(–)
$\langle \omega L/U_{\infty} \rangle$	Ortalama girdap	(–)

1. GİRİŞ

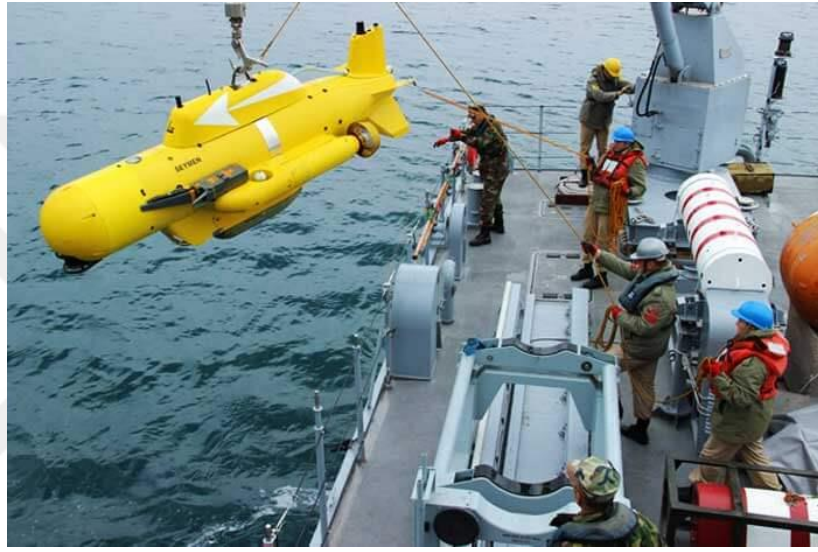
Yeryüzünde canlı veya cansız bütün varlıklar birbiriyle ve çevresiyle etkileşim halindedir. Bu etkileşimlerden ilham alınarak birçok alanda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu kapsamda akışkanlar mekaniğinde cisim ve çevre etkileşimlerinin araştırılması oldukça önemlidir ve bu alanda birçok araştırma yapılmaya devam edilmektedir. Akışkanlar mekaniği; uçakların, gemilerin, denizaltıların, roketlerin, jet motorlarının yanı sıra birçok alanda kullanılmaktadır. Akışkanlar mekaniği uygulamaları, optimize edilmiş geometrilerin aerodinamik ve hidrodinamik özelliklerinin elde edilmesinde önemli bir role sahiptir. İnsanın ilk varoluşundan bu yana insanoğlu merak etme, öğrenme ve geliştirme dürtülerine sahiptir. Bu içgüdüsel yönelim zaman ilerledikçe ve teknolojinin gelişmesiyle çeşitliliğini artırmıştır. Bunun neticesinde daha bilimsel sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır. Denizler ve denizlerin altları askeri ve endüstriyel bakımdan oldukça elverişli bölgelerdir. Su altına yönelim askeri ve endüstriyel gelişim isteğinin bir ürünüdür. Bu avantajlı ortamın farkına erken varılmıştır ancak su altı fiziksel şartlar bakımından insan vücudunun yaşamsal faaliyetleri için uygun değildir. Su altında yüzeyden uzaklaştıkça basıncın yükselmesi, sıcaklığın düşmesi ve oksijenin insanlar için yetersiz olması gerekli ekipman olmadan yaşamın devam ettirilebileceği bir ortam değildir. Bu nedenle birçok araştırmacı savunma, sanayi ve araştırma alanlarında yeni nesil insanlı veya insansız otonom su altı araçlarını (AUV) tasarlamaya, uygulamaya ve geliştirmeye yönelmiştir. Bu alanda yapılan bazı çalışmalar; [1, 2, 3, 4, 5].

Yapılan çeşitli araştırmalar sonucunda insansız su altı araçları; kablo kumandalı ve uzaktan kumandalı olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır.

Remotely Operated Underwater Vehicle (ROV) yani Kablo kumandalı su altı aracı adından da anlaşılacağı üzere mevcut kablosu dolayısıyla hareket alanı kısıtlı bir araçtır. Araç üzerine yerleştirilmiş kamera vasıtasıyla izleme, inceleme ve gözlem amaçlı kullanılmaktadır [6].

Uzaktan kumandalı su altı araçları, herhangi bir bağlantı elemanı bulunmadan kendi güç kaynağına sahiptir ancak görevleri ve manevraları için uzaktan kumanda edilmektedir [6].

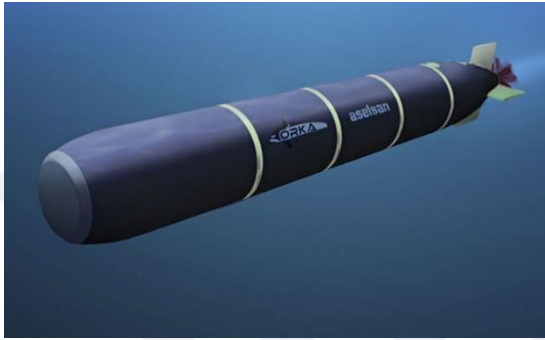
Autonoms Underwater Vehicle (AUV) –Otonom su altı araçları kendi üzerinde mevcut güç kaynakları olan ve önceden koordine edilmiş insansız su altı araçlarıdır. İstenilen hedefe herhangi bir dış müdahale olmadan ulaşabilen ve gerekli manevra kabiliyetlerine sahiptirler [6].



Şekil 1.1. Türk Deniz Kuvvetleri Envanterinde mevcut ROV [6]

Zaman içerisinde gelişen teknoloji ve yapılan çalışmalarla ülkeler savunma sanayisinde de önemli yenilikler yapmaktadır. Dünya üzerindeki konumları sebebiyle Türkiye gibi deniz ve okyanuslara kıyısı olan ülkeler donanmalarını güçlendirmeye yönelmişlerdir. Bu yenilikçi çalışmalar kapsamında denizlerden gelebilecek herhangi bir tehlikeye karşı tespit ve saldırı için deniz altlarına yönelim artmıştır. Savunma sanayi söz konusu olduğunda ilk akla gelen Rusya, Güney Kore, Çin, ABD gibi ülkeler denizaltı prototip çalışmalarına hızla başlamışlardır. Ülkemizde de Türk Deniz Kuvvetlerinin muharebelerine oldukça katkı sağlayacak denizaltıları mevcuttur. Güney Kore Ar-Ge biriminin Türkiye'ye vermiş olduğu destekle geliştirilen 50+ kilometre menzile sahip AKYA torpido füzesi ve tamamıyla milli imkanlar ile geliştirilmiş su üstü platform ve hava araçlarından denizaltı hedeflere atılabilen yeni nesil hafif sınıf torpido olan ORKA yüksek hızla 25+ kilometre menzil

gidebilmektedir [7, 8]. Denizaltı Savunma Harbi (DSH) Roketi ve Atıcı sistemi; su altı hedefler için geliştirilmiş olup otomatik ve manuel yönlendirme özelliği sayesinde istenilen hedefe tekli veya salvo (yaylım atışı) atış yapabilmekte, istenilen derinlikte patlama sağlayabilmektedir [9]. Su üstü ve su altı platformlarda kara ve su üstü hedeflerine karşı saldırı yapabilen uzun menzilli, düşük radar izli ve hassas hedef vuruş özeliğine sahip otonom ATMACA gemi savar füzesi de ülkemiz savunma sanayisinde mevcuttur [10].



Akyu torpido (a)



Orka torpido(b)



ATMACA Roketi (c)



Denizaltı Savunma Harbi (DSH) (d)

Şekil 1.2. Türk Deniz Kuvvetlerinin envanterinde mevcut torpido ve roketler [7,8,9,10]

AUV'ler içerisinde kendi enerjisini karşılayabileceği sisteme sahip herhangi bir bağlantı olmadan uzaktan kontrol edilebilen veya önceden belirlenmiş hedeflere zamanında ulaşabilen araçlardır. Bu araçlar gerektiğinde daha karmaşık görevlerde üstlenebilmektedir. Bu tarz karmaşık görevleri için birden fazla AUV'ye ihtiyaç duyulabilmektedir. Çoklu AUV'ler üzerinde de geçmişte başarıyla yürütölmüş

alışmalar mevcuttur [11, 12, 13, 14, 15]. Çoklu AUV sistemlerin karmaşık görevleri yerine getirebilme durumlarında kendi aralarında hidrodinamik etkileşimler oluşabilmektedir. Akış etkilerini kontrol edebilmek, akış ayrılmalarını incelemek, akış-yapı etkilerini ve bu etkilerin şiddeti araştırılması gereken önemli noktalardır [16, 17].

Okyanus, deniz, akarsu gibi akışkanlar içerisinde hareket eden su altı araçlarının n ve arka yüzeylerinde basınç farkı nedeniyle oluşan kararsız akış su altı araçlarına bir direnç göstermektedir. Araçların yüzeyinde oluşan bu akış etkileşimleri cismin hareket ve manevra kabiliyetini etkilemenin yanında gerektiğinden fazla g tüketime sebep olmaktadır. Akışkan-cisim arasında oluşan sürtünme direncini azaltmak ve akış kontrolünü sağlamak oldukça önemlidir.

Akış kontrolünü sağlamak için; dış enerjinin sağladığı akış kontrolü veya cisim üzerine sabit parça eklenerek (o-ringler, kuyruk, kanat vb.) pasif akış kontrolü sağlanabilmektedir [18]. Art izi bölgesinde daralmalar sağlayarak ve akış ayrılmasını önleyerek oluşan sürtünme dirençlerini azaltmaya yönelik yapılan bazı çalışmalar literatürde mevcuttur [19,20,21].

Bu çalışmada su altı savunma alanında sıkça karşımıza çıkabilecek olan torpidoların su içerisinde çoklu dizilimleri ve farklı şekilde konumlandırmaları durumunda torpedo ve torpedo benzeri cisimlerin çevresinde oluşan akış ve bu akıştaki bozulmalar Parçacık Görüntülemeli Hız lme Tekniğı (PIV) ile incelenecektir. PIV yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada Eliptik ve Kt burun yapısında kanatsız kuyruğa sahip torpedo benzeri geometrilerin üniform akış koşulunda $Re = 20 \times 10^3$ 'te , anlık hız vektör alanı V değişimi, anlık girdap konturları $\omega L/U_\infty$ değişimi, ortalama akım yönündeki hız bileşeni konturları $\langle u/U_\infty \rangle$ değişimi, ortalama akım yönüne dik hız bileşeni konturları $\langle v/U_\infty \rangle$ değişimi, ortalama hız vektör alanı $\langle V \rangle$ değişimi, ortalama akım çizgilerinin $\langle \Psi \rangle$ değişimi, ortalama girdap konturları $\langle \omega L/U_\infty \rangle$ değişimi, ortalama akım yönündeki hız bileşeni türbülans çalkantı konturları $\langle u_{rms}/U_\infty \rangle$ değişimi, ortalama akım yönüne dik yöndeki hız bileşeni türbülans çalkantı konturları $\langle v_{rms}/U_\infty \rangle$ değişimi, ortalama Reynolds gerilme korelasyonu çalkantı konturları

$\langle u'v'/U_\infty^2 \rangle$ değişimi ve ortalama boyutsuzlaştırılmış türbülans kinetik enerji konturları $\langle T.K.E/U_\infty^2 \rangle$ değişimi karşılaştırılmıştır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Akışkanlar mekaniği çeşitli geometrilerin aerodinamik ve hidrodinamik özelliklerine ulaşmakta önemli bir role sahiptir. Bu sebeple dünya ülkelerinin savunma sanayilerini ve turizmini geliştirmekte öncelik verdiği bir alan olmuştur. Dünya literatüründe de adından sıkça söz ettirmekte ve birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların bir kısmı incelenmiştir ve bu çalışmamıza yol gösterici olmuştur.

Jensen S.T. (1995), bir duvarın yakınında çalışan bir su altı aracına etki eden hidrodinamik kuvvetleri araştırmak için su tüneline deneyler yapmıştır. Deneylerde, aracın duvara uzaklığını ve eğimini değiştirmiştir. Akış ayrılmasının hidrodinamik kuvvetler üzerindeki etkisinin hücum açısına bağlı olduğu sonucuna varmıştır [22].

Bryne (1998), Otonom Su Altı Aracı (AUV) için sanal bir denizaltı simülasyonu oluşturmuştur. Çalışmasında AUV'lerin hareket kontrolünü iyileştirmek, dalga hareketlerinin etkilerini ve denizaltı kaynaklı akış alanlarını sensörlerle simüle etmiştir. Simülasyonda türbülanslı çapraz akışın gövdeye etkileri kolaydan zora doğru bir dizi test uygulanmıştır. Araştırma sonucunda, denizaltı fırlatma ve kurtarma sırasında AUV tasarlamak ve çalıştırmak için gereken modeller ve kontrol algoritmaları ile birlikte okyanus ortamı doğru bir şekilde simüle edilmiştir. Son olarak, simülasyon testi sonuçları, gerçek çapraz vücut akış sensörleri ile AUV kontrolünün, önce türbülanslı bir akış alanı boyunca ve daha sonra hareket eden bir denizaltı ile daha kararlı navigasyon sağlayabileceğine dair güçlü kanıtlar sağlar [23].

Ananthakrishnan ve Zhang (1998), otonom su altı aracı üzerinde, deniz tabanı ve yüzeydeki dalgaların oluşturduğu hidrodinamik etkileri incelemişlerdir. Otonom su altı aracı deniz tabanından bir AUV boyu uzaklığında konumlandırılmıştır. Otonom su altı aracı üzerinde, deniz tabanı büyük bir emme kuvveti etkisi oluşturduğu sonucuna varmışlardır [24].

Molland ve Utama (1997-2002), düşük hızlı bir rüzgâr tüneli kullanarak deneysel ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanarak sayısal olarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada bir katamara gövdesi gibi birbirine yakın cisimler

arasındaki viskoz etkileşim etkilerinin anlaşılması ve geliştirilmesini incelemişlerdir. Çalışmanın deneyseli $Re:3.2 \times 10^6$ 'da tek bir uzunluk-çap oranında, dört farklı ayırma-uzunluk oranında bir çift elipsoid üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Sayısal çalışmalar, rüzgâr tüneline test edilenlerle aynı geometriye sahip ve daha büyük boy-çap oranında incelemeler yapmışlardır. Sayısal ve deneysel çalışmaları karşılaştırmışlardır [25, 26].

Yanıktepe vd. (2003), kapalı çevirim bir su kanalı içerisinde dört farklı reynolds sayısında üçgen kanat üzerinde oluşan akış karakteristiği inceleme testleri yapmışlardır. Deneyler de akış görüntüsünü boya kullanılarak izlemişlerdir. Çalışma sonucunda Reynolds sayısının artması kanat üzerinde oluşan girdapların kanadın uç kısmına doğru hareket ettiği sonucuna varmışlardır [27].

Agrawal vd. (2006), yan yana yerleştirilmiş iki kare silindir arasındaki mesafeye bağlı olarak silindirlerin etrafındaki akışı Lattice Boltzmann Methodu (LBM) kullanarak incelemişlerdir. Mesafeleri kademeli olarak artırmışlardır. İncelenen çalışmada üst kısımdaki silindir yüzeyindeki ortalama basınca bağlı simetrik ve asimetrik akış gözlemlenmiştir. Silindirler arasındaki mesafeye bağlı jet akışı yorumlamışlardır [28].

Deng vd. (2007), balık benzeri yüzme hareketi yapan iki folyo arasındaki hidrodinamik etkileşimler incelemişlerdir. Tandem düzence arka kısımda kalan balık benzeri folyo daha düşük itme kuvvetine maruz kaldığını gözlemlenmiştir. İtme kuvvetindeki artış veya azalmanın Strouhal sayısına bağlı olduğu sonucuna varmışlardır. İki balık arasındaki Strouhal sayıları için itme ve verimlilik etkileşim mesafeleri birbirine yakın yerleştirildiğinde tek bir balığa göre daha yüksek ve aralık arttıkça tek bir balık için hesaplanan değerlere daha yakın olduğu sonucuna varmışlardır [29].

Husaini vd. (2009), otonom su altı araçlarının (AUV) çeşitli konfigürasyonları sonucunda üzerlerinde oluşan itme, sürüklenme kuvvetlerinin davranışı Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılarak incelemişlerdir. AUV'ler arasındaki konum düzenlemesi ve arasındaki mesafe etkisi incelemişlerdir. Mesafe ve konum

düzenlemesi arasındaki karşılaştırmada önde gelen AUV'nin arkasındaki mesafenin, sürüklenme kuvvetine fazla etki etmediği, ancak konum düzenlemesinin, sürüklenme kuvveti için önemli ölçüde etkisi olduğunu göstermişlerdir [30].

Jagadeesh vd. (2009), tekne formundaki bir AUV'nin hidrodinamik kuvvet etkilerini iki farklı reynolds, farklı hız ve hücum açılarında deneysel olarak incelemişlerdir. Yüksek hızlar ve hücum açıları eksenel kuvvet katsayıları ile karşılaştırılması sonucunda normal kuvvet katsayılarında maksimum artış gözlemlemişlerdir [31].

Yu vd. (2010), sonlu hacim yöntemini kullanarak Mini-Otonom su altı aracının nümerik hesabını yapmışlardır. Non-lineer akış ve mini-otonom su altı aracının hidrodinamik etkileşimlerini incelemek için doğrusal ve parabolik hız dağılımlarını belirlemişlerdir. Mini- otonom su altı aracı üzerinde oluşan Z eksen moment etkisinin Y ekseninde oluşturduğu düzensiz hız dağılımları üretildiğini gözlemlemişlerdir [32].

Ozgoren vd. (2011), Parçacık Görüntülemeli Hız ölçme (PIV) yöntemi ve boya görselleştirme tekniği kullanarak, silindir ve küre etrafındaki akış karakteristiklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmaları $Re=5000$ ve $Re=10000$ değerleri için gerçekleştirmişlerdir. Kürenin art izi bölgesindeki küçük ölçekli girdapların yoğunluğunun, silindirin art izi bölgesi ile kıyasladıklarında daha baskın olduğunu gözlemlemişlerdir [33].

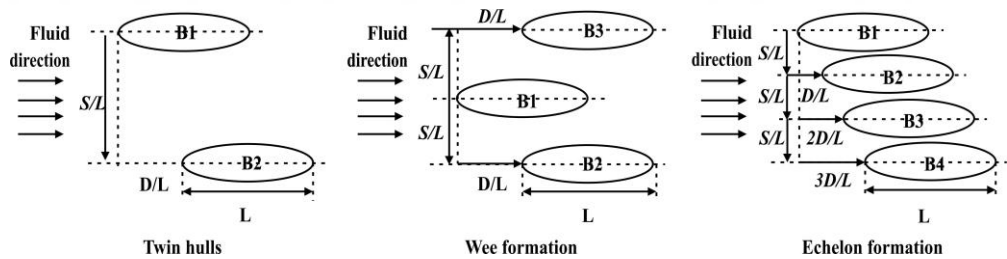
Alam vd. (2013), sabit silindirler üzerindeki zaman ortalama kaldırma kuvveti ve etkileşim mekanizmaları açısından iki dairesel silindirin akış kaynaklı titreşimlerinin fiziksel hareketlerini incelemişlerdir. Çeşitli boşluk-çap oranında ve farklı saldırı açısında incelemeler yapmışlardır. İki silindir arasındaki etkileşim mekanizmaları, zaman ortalama kaldırma, dalgalı kaldırma, akış yapıları ve akış kaynaklı tepkilere dayalı olarak tartışmışlardır. Daha büyük bir dalgalı kaldırma kuvveti, daha büyük bir genlik girdap uyarımı ile iletişim kurduğu sonucuna varmışlardır [34].

Dantas ve Barros (2013), otonom su altı araçlarının (AUV) manevra kabiliyetlerini ve akış özelliklerini CFD simülasyonları ile incelemişlerdir. Çeşitli AUV'lerin farklı

hücum açılarında akışın hidrodinamik etkileri incelendiğinde en uygun modelin modelin k- ω SST türbülans modeli olduğunu belirlemişlerdir [35].

Allston vd. (2014), PIV Tekniği kullanılarak yapılan deneysel çalışmada, otonom su altı aracı üzerindeki hidrofilin firar bölgesindeki akış yapısı incelemişlerdir. Otonom su altı aracı beş farklı saldırı açısında ve dört farklı akış hızında yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçları simülasyon sonuçları ile karşılaştırmışlardır [36].

Rattanasiri vd. (2014), çoklu gövdelerin kademeli olarak konumlandırılması sonucu, aralarındaki viskoz etkileşimin hidrodinamik etkilerini araştırmışlardır. Gövdeler; ikiz gövde konfigürasyonu, V oluşumu ve kademeli olarak çalışılmışlardır. Çalışmada, ANSYS CFS 12.1 simülasyon programında Reynolds sayısı 3.2×10^6 'da CFD RANS-SST simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, farklı gövde konfigürasyonlarıyla tek gövdesi arasında karşılaştırmışlardır. İki gövdesi arasındaki boşluğun artırılması gövdeler arası etkileşimin azalmasına neden olduğunu incelemiştir. Kademeli gövde konfigürasyonunda önde gelen gövde haricinde filodaki bir bireyin sevk maliyeti düşürmek için kullanılabileceği sonucuna varmışlardır [37].



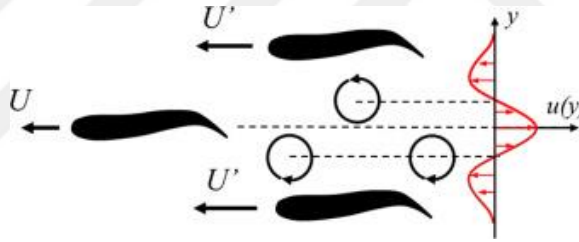
Şekil 2. 1. Rattanasiri ve ark. 2014 yılında yaptıkları çalışmalarında tandem model dizilimleri [37]

Leong Z.Q. ve Ranmuthugala D. (2015), büyük bir denizaltıya yakın hareket eden küçük bir otonom su altı aracı (AUV) üzerindeki hidrodinamik etkileri çözümleyebilmek için CFD analizi yapmıştır. Değişken olarak konum, hız ve çap oranı seçilmiştir. Denizaltı ve AUV arasındaki etkileşimde; Denizaltının kuyruk bölgesi ve etrafındaki alan içerisinde bulunan etkileşim kuvvetleri ve momentleri AUV'yi denizaltı'ya doğru çekme eğilimindedir bu bölge yüksek çarpışma riskli olarak tanımlanmıştır. Denizaltı gövdesinin orta kısımlarına gelindiğinde bu etkileşimler

minimum düzeyde olup AUV için denizaltıya yanaşma ve ayrılmada daha güvenli bir çalışma alanı oluşturduğunu belirlemişlerdir [38].

Xu vd. (2015), asimetrik bir şekilde sahip Uzaktan Kumandalı bir aracın (ROV) birden fazla tekrarlı bir dizi dalma çekme testi yapılmıştır. ROV hareketlerini tahmin etmek ve sayısal sonuçlarını doğrulamak için kullanılabilecek hidrodinamik kuvvetler ve momentlere karşılık gelen etkileri karşılaştırılmış ve formülleri belirlemişlerdir [39].

Chen vd. (2016), bir balık sürüsünü bir ön ve iki arka düzende kademeli dizilimini sayısal olarak incelemişlerdir. Öndeki tek balık oluşturduğu yüksek basınç alanı itme kuvvetini artırdığı ancak arkadaki iki balığın arasında oluşan düşük basınç bölgesi güçlü bir emiş oluşturarak öndeki tek balığın yüzmesine zarar verdiği sonucuna varmışlardır. Bu çalışmanın su altı araçlarının dizilimleri hakkında fikir vereceği sonucuna varmışlardır [40].



Şekil 2.2. Balıkların girdap izi ve hız profili [40]

Yagmur S. (2016), PIV yöntemiyle uniform akış şartlarında 0° , 4° , 8° , 12° hücum açılarında, $Re=20000$ ve $Re=40000$ olmak üzere iki farklı Reynolds değeri için deneysel çalışma yapmışlardır. Bunun yanısıra HAD yöntemi ile istenilen şartlarda ANSYS-Fluent programı kullanılarak en yakın Large Eddy Simulation (LES) türbülans modeliyle kıyaslamalar yapmışlardır. İncelemeler sonucunda, Reynolds sayısı artırıldıkça geometrinin art izi kısmında bulunan durma noktasının, geometrinin kuyruk kısmına doğru yaklaştığı gözlemlenmiştir. Geometrinin hücum açısındaki artışa bağlı olarak kaldırma ve sürüklenme katsayılarının da arttığı sonucuna varmışlardır [41].

Yaniktepe vd. (2018), PIV yöntemi ve boya kullanılarak yapılan bu deneysel çalışmada farklı hücum açılarında elmas kanat üzerinde oluşabilecek akış ayrılmaları ve girdap kırılmalarını yani akışın fiziğini yorumlamışlardır. Düşük hücum açılarında oluşan akışın kanadın arka kenarında ve aşağıda olduğu gözlemlenirken, yüksek hücum açılarında bu girdap kırılmaları kanadın tepe noktasına yaklaştığını gözlemlemişlerdir [42].

Zhang D. vd. (2019), iki otonom su altı aracı (AUV) sisteminde, hidrodinamik etkileşimi etkileyen faktörleri araştırmak amacıyla, simülasyon değişkenleri olarak boşluk, daha küçük aracın sürüklenme açısı ve su yüzeyinden derinlik seçmişlerdir. Çalışmada daha büyük aracın sistemi yönlendirdiği tandem konfigürasyonunun birleşik bir sürtünme azalmasına sahip olabileceğini göstermiştir. Hidrodinamik etkileşimin sistem üzerinde en büyük ve en az etkiye sahip olduğu konumları incelemişlerdir. Sistem su yüzeyine yaklaştığında, su yüzeyi etkisi nedeniyle hidrodinamik etkileşimin ağırlaştığı sonucuna varmışlardır [43].

Sarıgüznel (2020), $Re = 20000$ ve $Re = 40000$ olmak üzere iki farklı Reynolds değerinde, PIV yöntemi, HAD analizi ve boya deneyi ile çalışmalar yapmışlardır. LES yöntemiyle geometri etrafında daimi olmayan akış özellikleri hesaplamışlardır. Yapılan çalışma neticesinde, serbest yüzeye yakın olan geometrinin girdap, akım çizgileri, kinetik enerji ve hız alanının asimetrik akış karakteristiğine sahip olduğunu gözlemlenmişlerdir [44].

Kılavuz ve ark. (2021), torpido benzeri geometriyi serbest yüzeye yakın konumlandırarak model çevresindeki akışı sayısal olarak incelemişlerdir. $\alpha = 0^\circ$, $\alpha = 4^\circ$, $\alpha = 8^\circ$ ve $\alpha = 12^\circ$ hücum açılarında, $0.75 \leq h/D \leq 3.5$ daldırma oranlarında ve $Re = 40000$ değerinde çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Farklı hücum ve daldırma oranlarına bağlı olarak Froude sayılarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda ise daldırma oranının düşük olduğu konumlarda Froude sayılarının daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır [45].

Akbudak ve ark. (2022a) üniform akış şartlarında torpido benzeri geometrilerin tek ve çift tandem düzenlemesini incelemişlerdir. $Re = 20000$ değerinde yapılan bu çalışmada

geometriler arası mesafeyi (G) 0-120 mm aralığında kademeli olarak değiştirmişlerdir. Tekli torpido benzeri geometri ile karşılaştırılan tandem düzenlemeli geometrilerin aralarındaki mesafe 120 mm'ye getirildiğinde tandem düzenli geometriler arasındaki akış yapısı tekli durumdakiyle benzerlik gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır [46].

Akbudak ve ark. (2022b) torpido benzeri geometrilerin tek ve çift tandem düzenlemesinde $G/L = 0.30$ mesafe oranında PIV yöntemi ile deneysel çalışmalarını yapmışlardır. Çalışmalar üniform akış şartlarında gerçekleştirmişlerdir. Tekli modele kıyasla tandem düzende konumlandırılan torpidoların ikinci geometrinin ardında oluşan vektör alanı ve girdap yapıları, tekli modele göre gövdenin üst kısmında, daha küçük ve daha küçük etkide olduğu sonucuna varmışlardır [47].

Kenan ve ark (2022a) eliptik kuyruk ve küresel burun yapısına sahip torpido benzeri geometri etrafındaki anlık akışı PIV yöntemi kullanarak incelenmişlerdir. Hücum açısı $\alpha=0^\circ$, $\alpha=8^\circ$ ve $Re=20000$ değerinde bu deneysel çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Geometrinin art izi bölgesindeki kayma tabakalarının artan hücum açısına bağlı olarak açı arttıkça kayma tabakalarının geometriye yaklaştığını gözlemlemişlerdir [48].

Kenan ve ark (2022b) eliptik kuyruk ve bombeli burun yapısına sahip torpido benzeri geometri etrafındaki anlık akışı PIV yöntemi kullanarak incelenmişlerdir. Hücum açısı $\alpha=0^\circ$, $\alpha=4^\circ$ ve $Re=20000$ değerinde bu deneysel çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışma sonucunda artan hücum açısına bağlı art izinde düşük hız bölgesinin oluştuğu ve art izinin genişlediğini gözlemlemişlerdir [49].

Kılavuz ve ark. (2022), boya görselleştirme ve PIV yöntemi kullanılarak serbest yüzeye yakın yerleştirilmiş torpido benzeri geometrilerin etrafındaki akış karakteristiklerini incelemişlerdir. $0.5 \leq h/D \leq 3.5$ daldırma oranlarında ve $\alpha=0^\circ$, $\alpha=4^\circ$, $\alpha=8^\circ$ ve $\alpha=12^\circ$ hücum açılarında gerçekleştirilen deneysel çalışma için $Re=20000$ ve $Re=40000$ olmak üzere iki farklı reynolds değeri seçmişlerdir. $h/D = 3.5$ daldırma oranında akış simetriklik gösterse de daha küçük daldırma oranlarında akışta asimetrikler meydana geldiğini gözlemlemişlerdir [50].

Kenan ve ark (2023a), 3-kanatlı eliptik kuyruk yapısına sahip torpido benzeri geometri çevresindeki anlık akışı PIV yöntemi kullanarak incelemişlerdir. Torpido benzeri geometrinin hücum açısı $\alpha = 0^\circ$, $\alpha = 4^\circ$ ve $Re = 20000$ değerinde çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Daha önceden deneysel çalışması yapılmış küresel burun, kanatsız kuyruk yapısına sahip geometriyle karşılaştırmaları yapmışlardır. Kanatsız kuyruk yapısına sahip geometriye kıyasla 3-kanatlı geometrinin art izi bölgesinde anlık girdap yapılarının daha parçalı olduğunu ve akış kontrolü için uygun olduğunu gözlemlemişlerdir [51].

Kenan ve ark (2023b), 4-kanatlı eliptik kuyruk, küresel burun yapısına sahip torpido benzeri geometriyi $Re = 20000$ ve $Re = 40000$ değerinde, hücum açısı $\alpha = 0^\circ$ 'de PIV yöntemi kullanarak deneysel olarak incelemişlerdir. Reynolds sayısındaki artış geometrinin art izi bölgesinin, geometrinin kuyruğuna yaklaştığı sonucuna ulaşmışlardır [52].

Kenan ve ark (2023c), 3-kanatlı eliptik kuyruk, bombeli burun yapısına sahip torpido benzeri geometriyi $Re = 20000$ ve $Re = 40000$ değerinde, hücum açısı $\alpha = 0^\circ$ 'de PIV yöntemi kullanarak deneysel olarak incelemişlerdir. Daha önceden deneysel çalışması yapılmış bombeli burun, kanatsız kuyruk yapısına sahip geometriyle karşılaştırmaları yapmışlardır. Torpido benzeri geometrinin 3-kanatlı kuyruk yapısının, burun çevresindeki akış yapısına etkisinin minimum seviyede etkisi olduğunu hesaplamışlardır [53].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

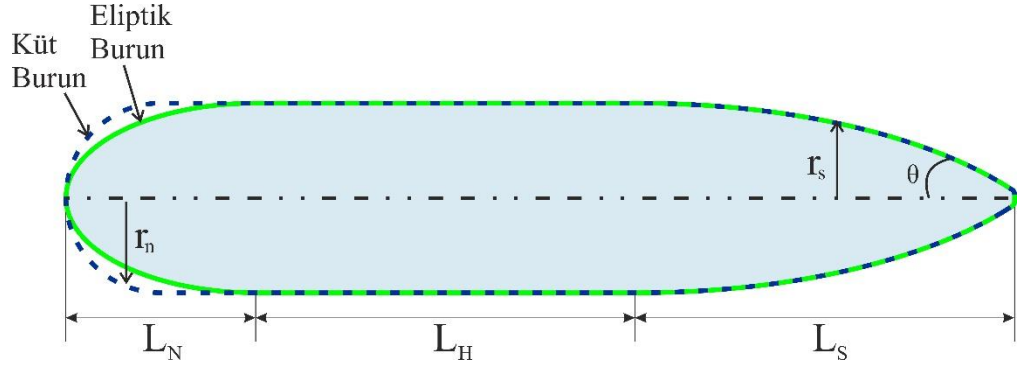
Bu deneysel çalışmada, eliptik ve küt burun olmak üzere iki farklı burun yapısına ve tek bir kuyruk yapısına sahip geometrilerin tek ve ard arda diziliminin kademeli olarak mesafelerinin deneyleri yapılmıştır. Torpido benzeri geometriler etrafındaki akış yapısı, Reynolds sayısı ($Re = U_{\infty} L / \nu$) 20×10^3 ve mesafe oranlarında (G/L) 0, 0.075, 0.15, 0.225, 0.30, 0.45 ve 0.60 incelenmiştir. Akışın hidrodinamik etkilerine bağlı akış karakteristiğini, hız vektör alanını incelemek ve hız ölçümünü yapabilmek için Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm (PIV) yöntemi kullanılmıştır. Bu deneysel çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İleri Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda çift pompalı, devir daim yapan kapalı çevrim açık su kanalında gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen veriler iki boyutlu görüntü düzleminde görselleştirilmiştir. Aşağıdaki bölümlerde yapılan deneysel çalışmanın detaylı incelenmesi ve sonuçları verilecektir.

3.1. Torpido Benzeri Geometri Parametreleri

Torpido benzeri geometrilerin tasarımında geometri burun, simetrik orta gövde ve kuyruk kısmı olarak üç kısımda tasarlanır. Tasarlanan geometrinin toplam uzunluğu 200 mm'dir. Tandem düzende yapılan çalışmalarda eliptik ve küt burun olmak üzere iki farklı burun yapısı karşılaştırılmıştır. Geometrilerin çapı 40 mm, burun kısımları 40 mm, orta gövde kısımları 80 mm ve kuyruk kısımları 80 mm olacak şekilde üretilmiştir. Torpido benzeri geometrilerin burun ve orta gövde profilleri (denklem 1 ve denklem 2) kullanılarak aerodinamik bir su altı aracı modeli oluşturacak şekilde belirlendi.

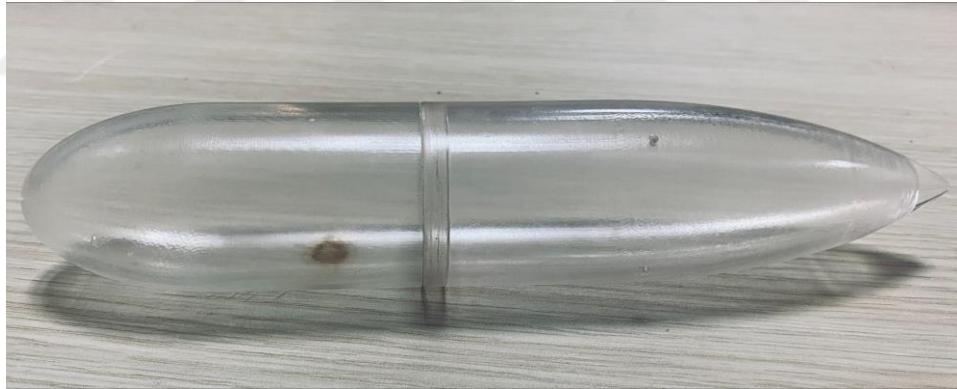
$$r_N(x) = \frac{1}{2}D \left[1 - \left(\frac{x - L_N}{L_N} \right)^2 \right]^{1/n} \quad (1)$$

$$r_S(x) = \frac{1}{2}D - \left[\frac{3D}{2L_S^2} - \frac{\tan\theta}{L_S} \right] + \left[\frac{D}{L_S^3} - \frac{\tan\theta}{L_S^2} \right] (x - L_N - L_H)^3 \quad (2)$$

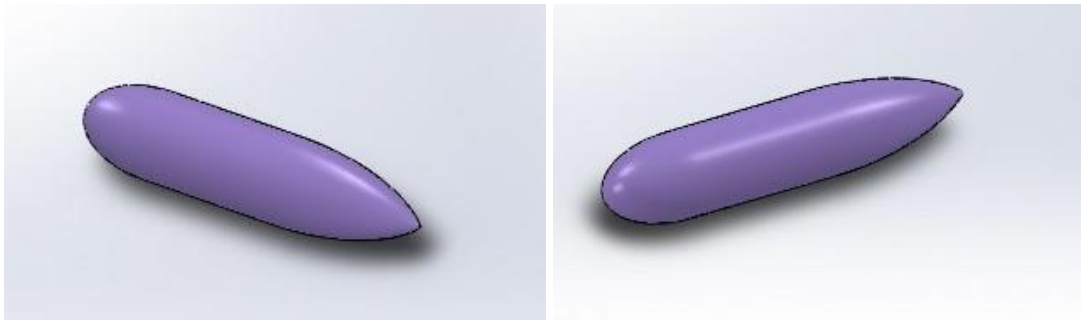


Şekil 3.1. Torpido benzeri geometrilerin burun ve orta gövde profilleri tasarım parametreleri

Torpido benzeri geometriler çevresindeki akışı incelemek için plexiglass malzemeden 2,5 mm kalınlığında imal edilen PIV modelleri Şekil 3.2. ve Şekil 3.4’de verilmiştir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.5’ de geometrilerin 3D görüntüsü verilmektedir. Şekil 3.3’de eliptik kesitli burun ve kanatsız kuyruk ($L/D=5$), Şekil 3.5’de küt burun ve kanatsız kuyruk ($L/D=5$) gösterilmiştir. Deneylerde TÜBİTAK 214M318 projesi için üretilmiş modeller kullanılmıştır.



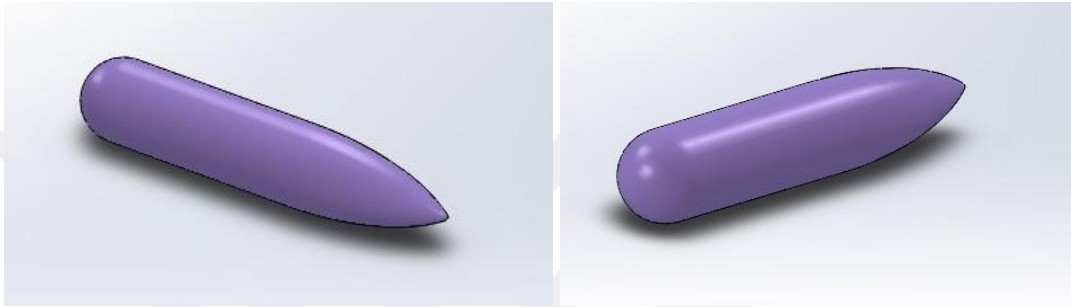
Şekil 3.2. Eliptik burun yapısına sahip torpido benzeri geometri



Şekil 3.3. Eliptik burun yapısına sahip torpido benzeri geometrinin 3D görüntüsü



Şekil 3.4. Küt burun yapısına sahip torpido benzeri geometri



Şekil 3.5. Küt burun yapısına sahip torpido benzeri geometrinin 3D görüntüsü

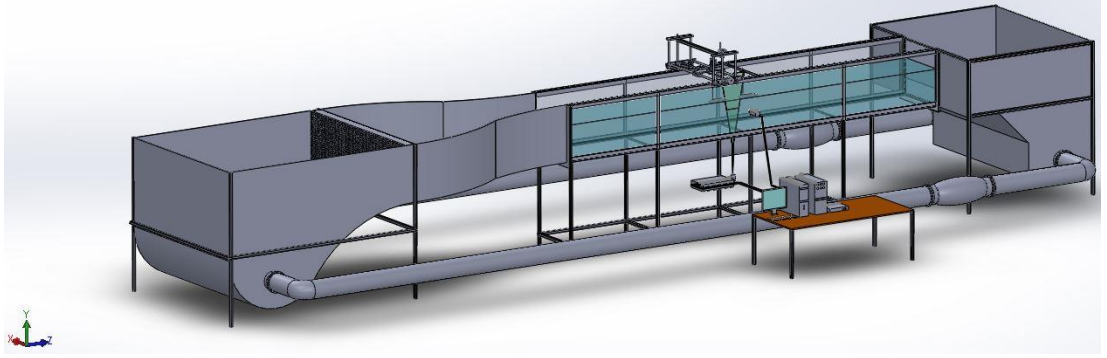
3.2. Su Kanalı Sistemi

Torpido benzeri geometrinin çevresinde ve art izi bölgesinde oluşan akış hareketlerinin incelenmesi için yapılan deneysel çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İleri Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Mevcut laboratuvarın deney sisteminin toplam ölçüleri uzunluğu 15 m, yüksekliği 1,8 m ve genişliği 4 m dir. Deney sisteminde 11 kW gücünde 2 pompa mevcuttur bu pompalar suyun devridaimini sağlamaktadır. İki adet su toplama tankı vardır. Pompalar vasıtasıyla ilk tankta toplanan su bir dizi bal peteği görünümlü elek içerisinden geçerek düzenli akışa dönüşür. Ölçüm alanı pleksiglas malzemeden yapılmış şeffaf duvarlardan oluşmaktadır. Ölçüm alanının kesitleri (GenişlikxYükseklikxBoy) 800x1000x6000 mm'dir. Elekler yardımıyla düzenlenen akış deney bölgesine geçerek gerekli testler alınır. İkinci toplama tankına tekrar toplanır ve bu işlem devamlı tekrarlanır. Su kanalını deneye hazır olması için son olarak yaklaşık yoğunluğu 1100 kg/m³ ve 10 µm çapında gümüş kaplı partiküller eklenmektedir. Kanal içerisine eklenen partiküllerin homojen olarak dağılımı için pompalar yüksek devirde çalıştırılır. Böylece su kanalı deneye hazır hale getirilmiştir.

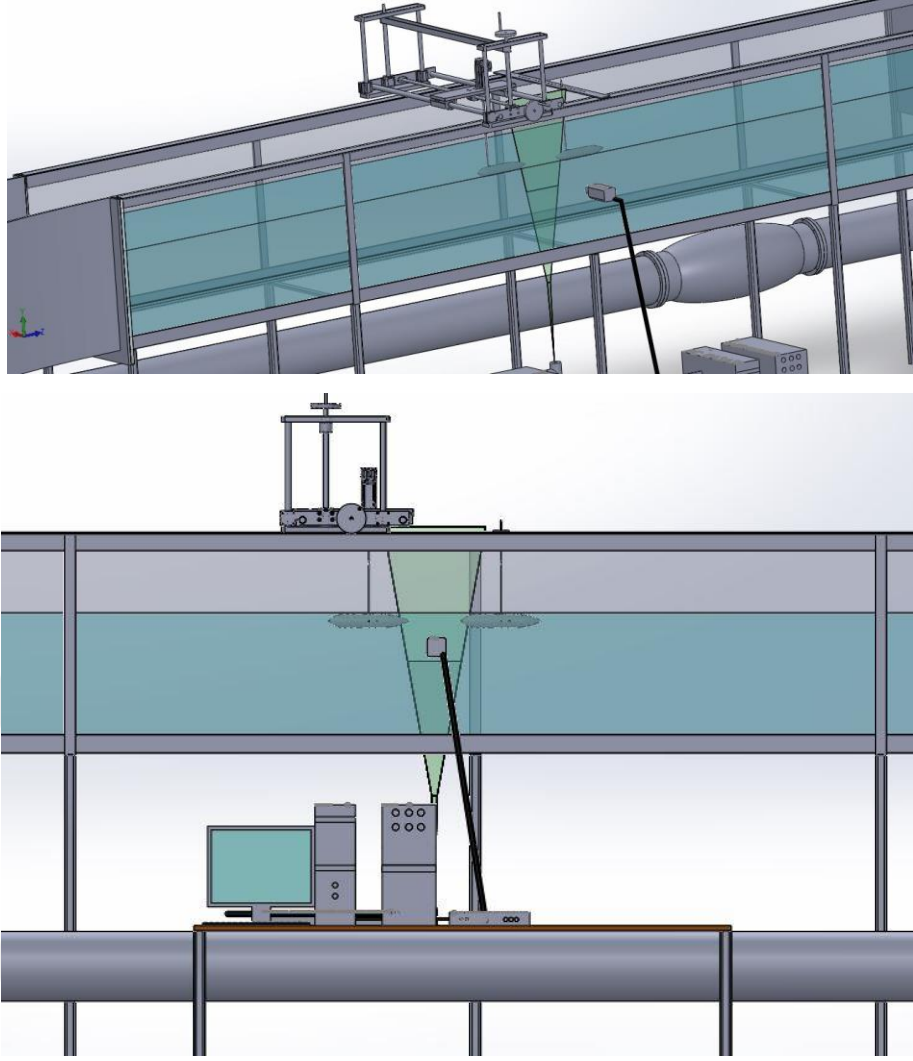


Şekil 3.6. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi ileri akışkanlar mekaniği PIV laboratuvarının fotoğrafı

[18]



Şekil 3.7. PIV laboratuvarı genel görünümü



Şekil 3.8. PIV laboratuvarı pleksiglass malzeme duvarına sahip deney alma kesiti

3.3.Parçacık Görüntülemeli Akış Hızı Ölçme (PIV) Sistemi

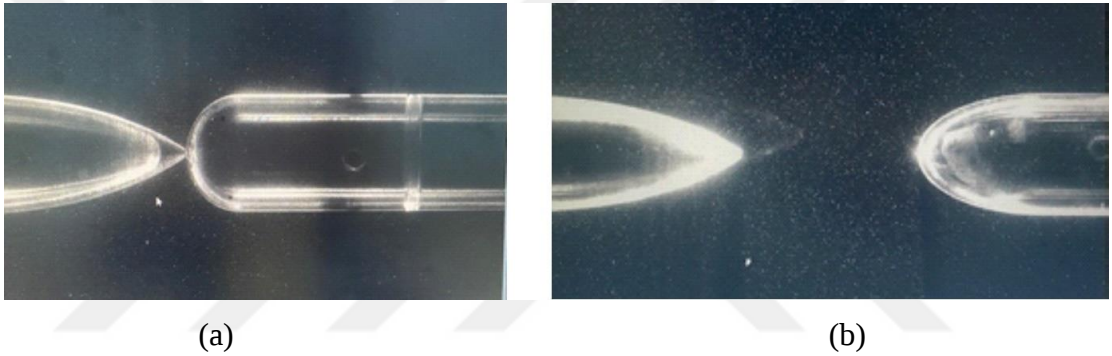
Akışkanların hareketlerini takip etmek ve cisimler karşısında davranışlarını gözlemlemek amacıyla noktasal hız ölçüm teknikleri başka bir deyişle vektörel hız ölçüm yöntemleri üzerine yıllardır çalışılmış ve geliştirilmiştir [54,55]. Bir akışkanın hareketini inceleyebilmek için belli bir alan içerisinde açık veya kapalı sistemlerde kararlı akış şartları sağlanmalıdır. Kararlı akışın yakalandığı bölgede inceleme yapılan kesitteki anlık hız vektörlerini ölçerek akış yapısı hakkında bilgi vermektedir [56,57]. Kararlı akış bölgesi olarak kabul edilen bölge içerisinde akışkanın cisim veya engelle karşılaşması durumunda akışkan hareketinin en kolay incelenebildiği durum akışkan içerisine gaz partikülleri veya boyanın enjekte edilerek takip edildiği durumdur. Böylece seçilen iki referans noktası arasındaki mesafenin zamana bağlı olarak hızı

bulunabilmektedir. Bu ölçüm yönteminin yanısıra akış ölçümünde rotametre, ventürimetre, orifismetre, sıcak tel anemometreleri ve pitot tüpleri de kullanılabilmektedir. Ancak pitot tüpünün akışa paralel olmaması, düşük Reynolds sayılarında viskozitenin değişimi, akış esnasında üniformluğun bozulması gibi aksaklıklar bu yöntemlerle yapılabilecek ölçümlerde hataya sebep olmaktadır. İki veya üç boyutlu akış yapısını görüntüleme ve çözümlemek için akışkanın düzlemsel bir kesitini aydınlatarak birçok noktanın anlık hızlarını PIV cihazı ile çözümlemek mümkündür. Aydınlatılan düzlemsel bölgenin belirli frekans aralığında ölçülmesi ve düzlemden alınan birçok noktanın anlık hızlarının tespiti ve analizi karmaşık akış yapılarının çözülmesini mümkün kılmıştır [58,59].

Akış alanını aydınlatmak için 532 nm dalga boyuna ve 145 mJ darbe enerjisine sahip çift darbeli Nd: YAG lazer (Neodymium-Doped Yttrium Aluminum Garnet) kullanılmaktadır. Lazer kaynağı saniyede en fazla 15 lazer huzme çifti üretebilmektedir yani lazer kaynağının frekansı 15 Hz dir. Lazer kaynağı tarafında üretilen lazer ışını 1-2 mm aralığında ilave ekipmanlar yardımıyla ayarlanabilmektedir. Aydınlatılan akış alanında anlık hız ölçümleri yapılırken, akış alanı içerisinde alınan 2 görüntünün partikülleri arasındaki mesafe (Δx) ve milisaniye boyutundaki geçen zaman (Δt) bilindiği için, anlık hız vektörü $V = \Delta x / \Delta t$ denklemi ile hesaplanır. Deneyler alınırken Lazer kaynağı ve kameranın kombine çalışması ve doğru görüntü alınabilmesi için bilgisayar ünitesi tarafından eş zamanlı çalışabilmesini kontrol eden senkronizer bulunmaktadır. Çalışmalar esnasında alınan fotoğraflar Fourier dönüşümü kullanılarak 32x32 piksel boyutlarında (boyutları küçültmek veya büyütme mümkündür) alt bölgeler oluşturulmaktadır. Çekilen görüntülerde iki partikül arasındaki mesafe ve zaman değişimi bilindiği üzere oluşturulan her bir alt bölgede akış hızı hesaplanabilmektedir. Akışın karakteristiğine bağlı olarak oluşturulan hız vektörlerinde bozukluk meydana gelebilmektedir. Bozuk vektörler akış bölgesinden çıkarılmaktadır. Boş kalan bu bölgelere lineer interpolasyon yöntemi kullanılarak eklenebilecek yeni vektörler hesaplanmaktadır.

3.4. Deney Alanı Görüntüleme

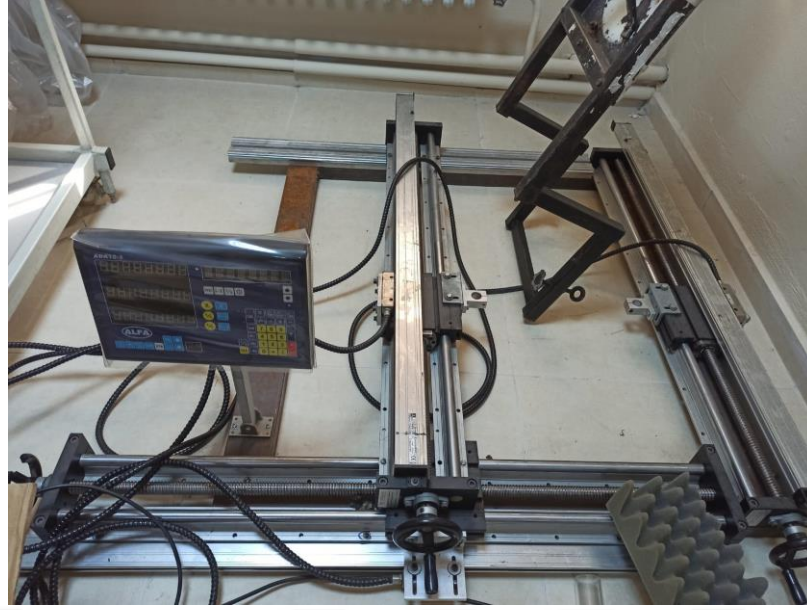
Lazer hüzmesi ile aydınlatılan düzleme dik olacak şekilde akış alanını görüntülemek için 1600x1200 piksel çözünürlüğe sahip Charged Couple Device (CCD) kamera yerleştirilmektedir. Deney alanında görüntü yakalamak için lazer hüzmesi; aydınlatılan bölgede su içerisinde mevcut gümüş kaplı partiküllerden kameraya yansımaktadır. CCD kamera çift çerçeve modunda ekran 1 ve ekran 2 olarak iki görüntüyü birbiriyle ilişkilendirip anlık hız alanını belirlemektedir. Dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise her görüntüleme alanında homojen dağılmış yeteri kadar partikül bulunmasıdır. Anlık hız alanı ölçülmesiyle akışın zaman ortalama hız vektörleri, türbülans istatistikleri gibi sonuçlar da hesaplanabilmektedir.



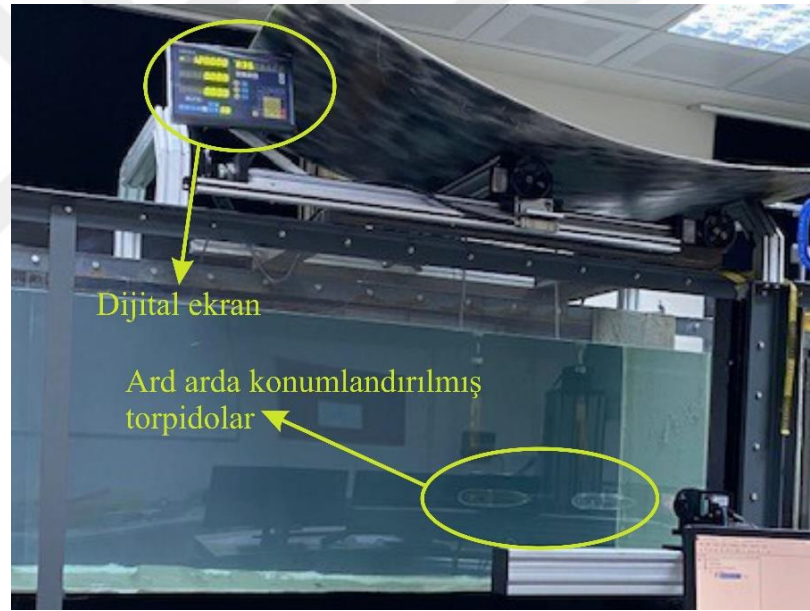
Şekil 3.9. (a) $G/L = 0$ oranında Küt burunlu, (b) $G/L = 0.225$ oranında Eliptik buruna sahip torpidoların CCD Kamera görüntüsü

3.5. Deneysel Sistemin Kuruluşu

Torpedo benzeri geometrilerin kapalı çevrim açık su kanalı içerisinde akış analizlerini yapabilmek ve torpidolar arasındaki mesafeyi kademeli olarak artırabilmek gerekmektedir. Deneyler kalibrasyonunu en doğru şekilde yapabilmek amacıyla Şekil 3.10’de gördüğünüz 1000x1000x200 mm (uzunluk x genişlik x kalınlık) ölçülerinde imal edilen platformun kanal üzerine Şekil 3.11’de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Kanal üzerine yerleştirilen platformdan akışkan içerisine daldırılmış mil ve miller ucunda aynı eksen ve akışa paralel yerleştirilmiş torpedo benzeri geometriler konumlandırılmıştır. Platformun sahip olduğu tasarıma dijital bir ekrana bağlanmıştır. Geometriler arası mesafe bu dijital ekrana bağlı olarak ayarlanmıştır.



Şekil 3. 10. Model mesafelerinin ayarlandığı dijital ekranlı platform

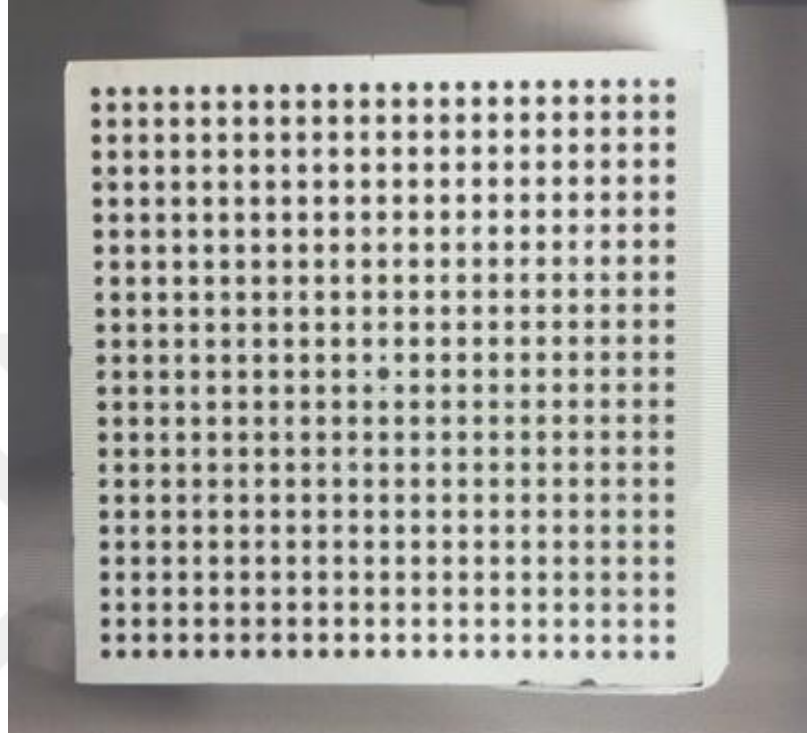


Şekil 3.11. Modeller arası mesafelerin ayarlandığı dijital ekranlı platformun su kanalı üzerindeki konumu

3.6. Kalibrasyon

Torpedo ve benzeri geometrilerin çevresinde ve tandem düzende iki geometri arasındaki akışı inceleyebilmek için su kanalı içerisine 90x90 mm² boyutunda kalibrasyon tahtası daldırılır. Kalibrasyon tahtası ölçüm alınacak kesitte ve geometriye paralel olarak konumlandırılır. Kalibrasyon tahtası yüzeyindeki tüm noktaları lazer

ışığı aydınlatacak şekilde lazer şiddeti ve kamera açıklığı ayarlanır. Tüm noktalar eşit aydınlattıldığında CCD kameradan kalibrasyon tahtasının görüntüsü alınır. Kalibrasyon tahtası üzerinde iki nokta belirlenerek program içerisinde aralarındaki mesafeye bağlı leklendirmeler yapılır.

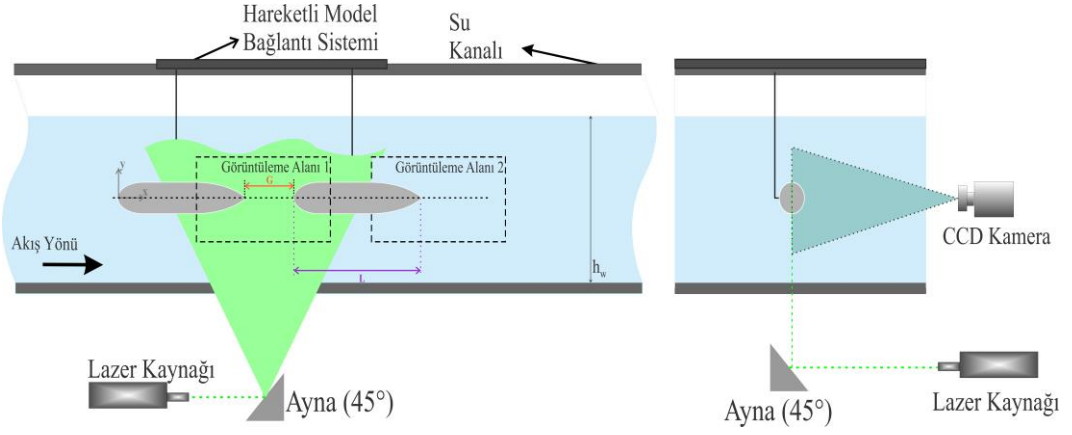


şekil 3.12. Su tünelinin içine yerleştirilen torpido benzeri geometri ile paralel konuma getirilen kalibrasyon tahtası

3.7. Parçacık Görüntü Hızı Deneylerinin Alınması ve İşlenmesi

Torpido benzeri geometrilerin deneylerinin alınabilmesi için kapalı çevrim açık su kanalına görüntüleme alanında yeterli yoğunluk sağlanabilecek şekilde gümüş kaplı partiküller eklenmektedir. Kanal içerisine eklenen partiküllerin homojen olarak dağılımı için pompalar yüksek devirde çalıştırılır. Kanal zerine yerleştirilen platformun mil uçları 80 cm su yüksekliğine sahip kanal içerisine daldırılır. Millere monte ve akışa paralel yerleştirilmiş torpidolar uniform akış seviyesine daldırılır. Akış alanını aydınlatacak için kullanılan çift darbeli lazer cihazı, su kanalının altına yerleştirilmiş 45° 'lik bir ayna vasıtasıyla torpidolar arasını akışı dik keserek deney alanını aydınlatacak şekilde konumlandırılmıştır. Lazer tabakasının kalınlığı yaklaşık 1.5 mm olarak ayarlanmıştır. Kanalın genişliğini ve su yüksekliğini ortalayacak

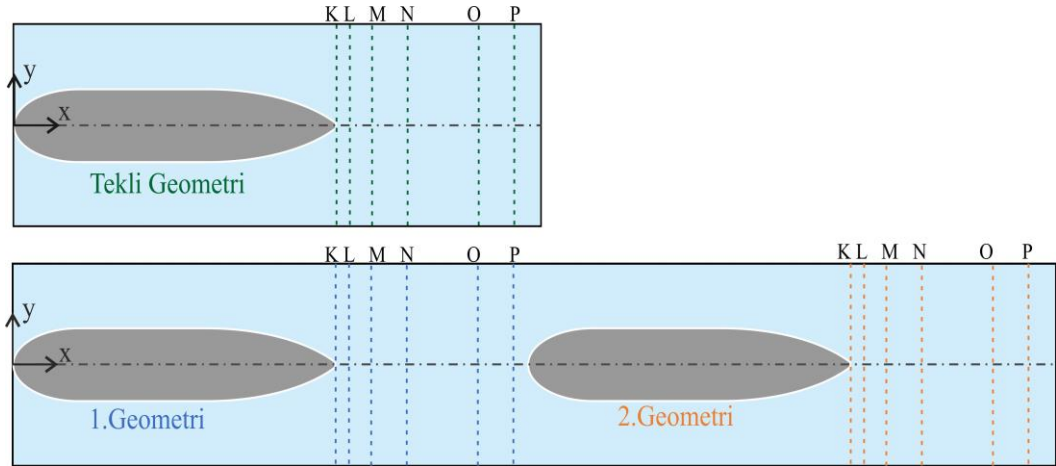
şekilde ve aynı ekseninde ard arda dizili torpidoların ön torpidonun kuyruğu ile arka torpidonun burun mesafesi G ile gösterilmektedir. Kuyruk ve burnun temas halinde Yani $G/L = 0$ konumunda, platforma bağlı makaraların hareketlerini algılayan dijital ekran sıfırlanarak torpidoların konum kalibrasyonları yapılmıştır. PIV yöntemi kullanılarak hız alanı belirleme deneyleri, $0,1 \text{ m/s}$ 'lik serbest akış hızına karşılık gelen 20×10^3 Reynolds sayısında gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler için uniform koşulda mesafe-uzunluk oranı, G/L , 0, 0.075, 0.15, 0.225, 0.30, 0.45 ve 0.60'dır. En net ve ölçülebilir anlık görüntüleri yakalamak için önce kamera açıklığı ayarlanır ve lazer gücü en düşük seviyeden başlayarak yavaş yavaş yükseltilerek ayarlanır. Kamera açıklığı yeterli olmadığı durumlarda açıklık kademe kademe artırılarak tekrar kontrol edilir. Bu ayarlamalar sonucunda en iyi aydınlatma ayarı yakalanmış olur. İki lazer darbesi arasında geçen süre, akış hızı, partikül çapı, kamerayla aydınlatılan bölge arasındaki uzaklık gibi teknik detaylar DYNAMIC STUDIO yazılımında ilgili yerlere yazılır. Böylece deneylerde görüntü alınabilmesi için tüm ekipmanlar hazırlanmıştır ve istenilen görüntüler alınır. Görüntüler 1600×01200 piksel çözünürlüğe sahip bir CCD kamerayla 32×32 piksel alt bölümlerde ve %50 örtüşme ile işlenmektedir. İşlenen her bir görüntü alanında toplam hız vektörleri 7326 (99×74)'dir. Mevcut görüntü içerisinde bulunan vektörlerin optimum değerlerinin dışında olması, lazer ışığının gücünün zayıf olması veya yeterli partikül bulunmayan bölgelerde oluşabilecek yanlış vektörler CLEANVEC programı ile temizlenmiştir. Steven M. (1999) tarafından geliştirilmiş bu vektör doğrulama programında yanlış vektörler Mutlak aralık filtresi, RMS tolerans filtresi, Büyüklük farkı filtresi ve Kalite filtresi olmak üzere dört farklı filtreden geçirilerek yanlış vektörler ortadan kaldırılmıştır [60]. Kaldırılan vektörlerin boş kalan yerlerini çevresinde bulunan vektörlere en yakın vektörler Gaussian metodu kullanılarak doldurulmuştur [61]. Bu vektör temizleme işleminin sonucunda akışın anlık hız alanları hesaplanabilmektedir. DYNAMIC STUDIO uzantılı ham verilere vektör temizlemenin devamında yaptırılan çeşitli proses işlemleri sonucunda anlık ve ortalama değerlerin bulunduğu dosyalar oluşturulmuştur. TECPLOT 360 ve SURFER programı yardımıyla bu veriler boyutsuzlaştırılmış ve akış görselleri çeşitli konturlandırma işlemleri yapılarak anlamlı ve yorumlanabilir görseller haline getirilmiştir. Son olarak bu görseller CORELDRAW programıyla son halini almıştır.



Şekil 3.13. Deney kesit alanının yan görünüşü



Şekil 3.14. Eliptik burun yapısına sahip iki torpido benzeri geometrinin deneysel konumlandırılması



Şekil 3.15. Eliptik ve Küt burun yapısına sahip geometrilerin tekli geometri ve $0 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe aralığında dikey ekseninde noktasal hızlarının belirlendiği istasyonlar

3.8. Akış Karakteristiklerinin Bulunması

Yapılan deneysel çalışmada, torpedo benzeri geometrilerin çevresinde oluşan , Anlık hız vektör alanı V değişimi, Anlık girdap konturları $\omega L/U_\infty$ değişimi, Ortalama akım yönündeki hız bileşeni konturları $\langle u/U_\infty \rangle$ değişimi, Ortalama akım yönüne dik hız bileşeni konturları $\langle v/U_\infty \rangle$ değişimi, Ortalama hız vektör alanı $\langle V \rangle$ değişimi, Ortalama akım çizgilerinin $\langle \Psi \rangle$ değişimi, Ortalama girdap konturları $\langle \omega L/U_\infty \rangle$ değişimi, Ortalama akım yönündeki hız bileşeni türbülans çalkantıları konturları $\langle u_{rms}/U_\infty \rangle$ değişimi, Ortalama akım yönüne dik yöndeki hız bileşeni türbülans çalkantıları konturları $\langle v_{rms}/U_\infty \rangle$ değişimi, Ortalama Reynolds gerilme korelasyonu çalkantı konturları $\langle u'v'/U_\infty^2 \rangle$ değişimi, Ortalama boyutsuzlaştırılmış türbülans kinetik enerji konturları $\langle TKE/U_\infty^2 \rangle$ değişimi incelenmiştir.

PIV sistemin yazılımına gömülü deneysel sonuçları veren denklemler;

İki boyutlu sıkıştırılamaz sürekli akışta oluşan girdap eşitliği,

$$\omega = \nabla \times U$$

İki boyutlu akışta oluşan kartezyen koordinatlarında girdap eşitliği,

$$\omega_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

Verilen denklemlerde girdap değeri akış alanında sonlu farklar metoduna bağlı olarak sınır ve cidar kısımlarında geri, merkezi ve ileri sonlu farklar metodu kullanılarak hesaplanabilmektedir.

Akım yönündeki hız bileşenleri ortalaması,

$$\langle u(i,j) \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u_n(i,j)$$

Akım yönüne dik hız bileşenlerinin ortalaması,

$$\langle v(i,j) \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N v_n(i,j)$$

Zaman ortalama girdap,

$$\langle \omega(i,j) \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \omega_n(i,j)$$

Akım yönündeki çalkantılı hız değerlerinin ortalaması,

$$\langle u(i,j)_{rms} \rangle = \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [u_n(i,j) - \langle u(i,j) \rangle]^2 \right]^{1/2}$$

Akım yönüne dik çalkantılı hız değerleri ortalaması,

$$\langle v(i,j)_{rms} \rangle = \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [v_n(i,j) - \langle v(i,j) \rangle]^2 \right]^{1/2}$$

Ortalama Reynolds gerilmesi,

$$\langle u'v'(i,j) \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \{u_n(i,j) - \langle u(i,j) \rangle\} [v_n(i,j) - \langle v(i,j) \rangle]$$

Akım yönündeki hız bileşenlerinin normal gerilmesi,

$$\langle u'u'(i,j) \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [u_n(i,j) - \langle u(i,j) \rangle][u_n(i,j) - \langle u(i,j) \rangle]$$

Akım yönündeki dik hız bileşenlerinin normal gerilmesi,

$$\langle v'v'(i,j) \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [v_n(i,j) - \langle v(i,j) \rangle][v_n(i,j) - \langle v(i,j) \rangle]$$

Son iki denklemde iki boyutlu akış alanı için verilen hesaplamaların normal gerilmeleri toplamı türbülans kinetik enerji (TKE) değeri hesaplanmaktadır. TKE hesaplama denklem formülü,

$$TKE = 0.75 (u'u'^2 + v'v'^2)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Elipitik ve küt burun yapılarına sahip torpido benzeri geometrilerin $Re=20 \times 10^3$ 'te aralarındaki mesafeye bağlı olarak firar bölgelerinde oluşan akış yapısını detaylı incelemek için Şekil 4.1.a'da ve Şekil 4.1.b'de anlık hız vektör alanlarının (V) karşılaştırılması verilmiştir. Şekil 4.1.a'da bulunan farklı burun yapılarına sahip tekli torpido benzeri geometrilerin art izi bölgesinde oluşan hız vektörleriyle Şekil 4.1.b'de $G/L=0.60$ mesafe oranındaki ikinci geometrilerin art izi incelendiğinde anlık hız vektörleri benzerlik göstermektedir. Tüm açıklık oranlarında ikinci torpido benzeri geometrilerin art izlerinde vektörlerin Von Karman girdap caddesi modeli gibi yatay "S" şeklini andıran bir yapı olduğu ve ayrıca $G/L=0.45$ açıklık oranından itibaren ise birinci torpido benzeri geometrilerin art izi bölgesinde de Von Karman girdap caddesi açıkça görünür hale gelmektedir. $0 \leq G/L \leq 0.45$ mesafe oranlarının anlık hız vektörleri incelendiğinde her iki burun yapısına sahip torpido benzeri geometrilerden birinci torpido benzeri geometrinin art izinde oluşan akışın ikinci torpido benzeri geometrinin art izi bölgesini oldukça etkilediği gözlemlenmiştir. Birinci torpido benzeri geometrinin alt ve üst sınırları boyunca hareket eden etkilenmiş akışa ait vektörler birinci torpido benzeri geometrinin firar bölgesinden sonra ikinci torpido benzeri geometrinin burun kısmına çarpmakta ve bir dirençle karşılaşarak yön değiştirmekte ve girdaplı bir akış oluşturmaktadır. Çalışma sonucunda torpidolar arasındaki tandem düzeninde yakınlığa bağlı oluşan art izindeki bozuklukların; Zdravkovich, Mittal ve Kumar tarafından dairesel silindir çevresinde oluşan akış bozulmalarına benzer sonuçlar olduğu gözlemlenmiştir [62,63].

Şekil 4.2.1.a ve Şekil 4.2.2.a'da üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin çevresinde oluşan akışın PIV yöntemiyle $Re=20 \times 10^3$ 'te yapılan deneylerin zaman ortalamalı hız vektör $\langle V \rangle$ alanları incelenmiştir. $G/L=0$ 'da eliptik burun yapısında görüntüleme alanı 1 (GA1)'de birinci geometri gövdesi boyunca hareket eden alt ve üstteki hız vektörleri kuyruk kısmında bozulmuştur. Bu bozukluk dönen simetrik bir akış oluşturma eğilimindedir. Küt burun yapısına sahip geometride bu dönümlü akışın tek taraflı olduğu gözlemlenmiştir. $G/L=0.075$ 'te küt burun yapısına sahip geometrilerin arasında ayrılmış akışın simetriğe yakın dönümlü bir akış

yapısı oluşturduğu görülmektedir. $G/L=0.15$ 'te her iki burun yapısına sahip geometrilerin GA1'de birinci geometrinin gövdesi boyunca hareket eden alt ve üst sınırlardaki akış, ikinci geometrinin burnuna çarparak üniform akış yönüne dik yönde hareket etme eğilimindedir. Bu ara bölgedeki basınç daha düşük olduğundan ortalama hız vektörleri sönümlenir.

Şekil 4.2.1.b ve Şekil 4.2.2.b'de üniform akış şartlarında eliptik, küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin çevresinde oluşan akışın PIV yöntemiyle $Re=20 \times 10^3$ 'te yapılan deneylerin zaman ortalamalı hız vektör $\langle V \rangle$ alanları incelenmiştir. $G/L=0.225$ 'te her iki burun yapısına sahip geometrilerin GA1'de aralarındaki etkileşim incelendiğinden birinci geometrinin gövdesi boyunca alt ve üst sınırları takip eden akışın geometriler arasındaki yakınlığa bağlı olarak basınç farkı oluşturduğu ve gövdenin alt kısmındaki kayma tabakasının gövdenin üst kısmındaki kayma tabakasına doğru kayma eğiliminde olduğu görülmektedir. $G/L=0.30$ 'da GA1'de küt burun yapısına sahip geometriler arasında da bu basınç farkından oluşan akış kayması görülmektedir. Eliptik burunlu geometrilerin aralarındaki etkileşim incelendiğinde ikinci geometrinin burnuna çarparak akışa ters hareket eden vektörler, birinci geometri gövdesi boyunca hareket eden etkilenmiş akışın $G/L=0.30$ aralık oranının yaklaşık orta noktasında çalkantı oluşturarak vektörlerin bir kaynaktan çıkarmışçasına saçıldığı görülmektedir. $G/L=0.45$ ve 0.60 mesafe oranlarında torpido benzeri geometriler tek bir torpidoya benzer akış davranışı göstermektedir.

Eliptik ve Küt burun yapılarına sahip torpido benzeri geometrilerin $Re=20 \times 10^3$ 'te aralarındaki mesafeye bağlı ve firar bölgelerinde oluşan girdap yapısını detaylı incelemek için Şekil 4.3.a'da ve Şekil 4.3.b'de anlık girdap konturları $\omega L/U_\infty$ karşılaştırılması verilmiştir. $G/L=0$ konumunda birinci ve ikinci torpido benzeri geometrilerin kuyruk ile burun temasından kaynaklı oluşan kayma tabakalarının geometri yüzeyini takip ederek art izi bölgesinde birçok küçük ölçekli girdap oluşumu görülmüştür. Ancak mesafelerin artması durumunda, $0.075 \leq G/L \leq 0.30$ konumlarında, her iki farklı burun yapısındaki torpidoların akış karakteristiğine bakıldığında birinci geometrinin firar kısmında yeterli mesafe olmadığından ikinci geometri burnuna çarpan akış ve sonrasında oluşan çalkantılı akışın geri dönmesine sebep olmuştur.

İkinci geometri burununa çarparak dağılan akış kararsız davranışlarla dağılarak hareket ettiği gözlemlenmiştir.

Eliptik ve küt burun yapısının tasarımına bağlı olmak üzere aynı mesafede farklı burun yapıları incelendiğinde akışkanın küt burun yapısında daha fazla çalkantıya uğradığı ve böylece akışın negatif ve pozitif dağılımlarının daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. $G/L=0.45$ ve 0.60 mesafelerinde oluşan akış yapısı incelendiğinde 0.45 mesafesinde oluşan girdap kontur yapılarının 0.60 ve tek torpido art izinde oluşan akış yapısına benzer olduğu ancak girdap kontur uzunluklarının biraz daha kısa ve dağınık olduğu görülmüştür. Bu girdap parçalanmaları yani girdap sönümlenmeleri akış alanında enerji seviyelerinin düştüğü ve bu sebeple gürültünün azaldığı sonucuna varılabilir.

Eliptik ve küt burun yapılarına sahip torpido benzeri geometrilerin $Re=20 \times 10^3$ 'te aralarındaki mesafeye bağlı ve firar bölgelerinde oluşan girdap yapılarını detaylı incelemek için Şekil 4.4.a'da ve Şekil 4.4.b'de ortalama girdap konturları $\langle \omega L / U_\infty \rangle$ karşılaştırılması verilmiştir. Akış alanı içerisinde pozitif ve negatif girdap konturları düz ve kesikli çizgilerle anlaşılır şekilde verilmiştir. Geometriler arası tüm mesafelerde girdap konturlarının simetrik veya simetriğe çok yakın değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.

$G/L=0$ durumunda geometriler tek bir gövde gibi hareket etmekte alt ve üst kayma tabakaları boyunca hareket eden girdap konturları ikinci torpido benzeri kuyruk bölümünde akış ayrılmasına uğrayarak görüntüleme alanı dışına doğru hareket etmektedir. Ancak G/L oranının artmasıyla alt ve üst kayma tabakalarındaki girdap konturlarının etkileşimlerinin değiştiği gözlemlenmiştir. Çünkü birinci geometri firar bölgesindeki ayrılmaya uğramış girdap konturları ikinci geometri burun kısmına çarpmakta ve girdap yapıları bir blokaja maruz kalarak parçalanmakta ve enerji seviyeleri düşmektedir. Bu sebeple burun yapısından bağımsız olarak artan G/L oranı ile ikinci geometri art izi bölgesindeki girdap konturlarının alan boyunca uzamasının kısaldığı, art izinin geometri kuyruk kısmına yaklaşarak küçüldüğü ve pozitif ve negatif girdap konturları arasındaki mesafenin azalarak birbirlerine yaklaştıkları gözlemlenmiştir. Burun yapıların etkisi ise küt burnun blokaj etkisi daha fazla olduğu

ve girdapları daha etkili parçalayıp enerji düşüşüne sebep olduğu için ikinci geometri art izindeki girdap kontur yapılarının eliptik burun art izindekilere göre daha küçük yapıda ve görüntüleme alanı boyunca uzamasının daha az olduğu sonucu görülmüştür. Ancak anlık görüntülerde de bahsedildiği üzere küt burun yapısına sahip torpidolar arasındaki akış eliptik burun yapısına kıyasla daha çalkantılıdır. Bunun sebebi akışın art izi bölgesinde küt burunla karşılaşması ve küt burnun blokaj etkisinin daha fazla olmasından kaynaklanan çalkantılı akış yapısının üniform akış yapısına dönüşümünü geciktirdiği görülmüştür.

Eliptik ve küt burun yapılarına sahip torpido benzeri geometrilerin $Re=20 \times 10^3$ 'te aralarındaki mesafeye bağlı ve firar bölgelerinde oluşan akış yapısını detaylı incelemek için Şekil 4.5.a 'da ve Şekil 4.5.b'de ortalama boyutsuzlaştırılmış türbülans kinetik enerji konturları $\langle T.K.E/U_\infty^2 \rangle$ karşılaştırılması verilmiştir. Farklı burun yapılarına sahip tek torpido benzeri geometrilerin art izindeki türbülans kinetik enerji konturları incelendiğinde benzer alanlar içinde kümelenme yaptığı ve max ve min değerlerinin birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmektedir.

$G/L=0$ konumunda birinci torpido benzeri geometrinin art izindeki görüntüleme alanında geometriler arasında mesafe olmadığı için akış birinci torpido benzeri geometri yüzeyinden ikinci torpido benzeri geometrinin firar kısmına doğru ilerlemiştir. İkinci torpido benzeri geometri art izinin görüntüleme bölgesinde ise akışın geometri boyunca ilerlediği ancak ikinci geometrinin kuyruk kısmında akışın ayrılmaya uğradığı görülmektedir, görüntüleme alanı ilerisinde TKE konturların üst ve alt kayma tabakalarının birbirlerine temas ederek kümelenme oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Torpido benzeri geometrilerin aralarındaki mesafeler $0.075 \leq G/L \leq 0.225$ konumlarında kademeli arttırıldığında birinci geometri art izine ait görüntüleme alanından alınan görsellerde küt burunlu geometriye sahip torpidonun eliptik burunlu geometriye kıyasla akışın hareketliliğini daha fazla arttırdığı ve bu sebeple daha yüksek seviyede türbülansa sebep olduğu gözlemlenmiştir. $0.30 \leq G/L \leq 0.60$ aralığında eliptik burunlu torpido benzeri geometride açıklık oranı artışıyla TKE kontur enerji seviyelerinde düşme olduğu max ve min değerlerindeki değişimlerden de açıkça görülmektedir

benzer şekilde bu düşmenin etkisine bağlı olarak ikinci geometri art izinde TKE min ve max değerlerinin de azaldığı ve ayrıca art izinin küçülerek kuyruk bölümüne yaklaştığı gözlemlenmiştir. Benzer durum küt burunlu torpido benzeri geometride gerçekleşmektedir. Ancak herhangi bir seviyedeki küt ve eliptik burunlu torpido benzeri geometrilerin art izlerini karşılaştıracak olursak her iki görüntüleme alanındaki min ve max değerlerinin küt burunluda daha düşük olduğu ve arz izinin eliptik burunlu geometriye göre daha küçük kuyruk bölümüne daha yakın hale geldiği görülmektedir.

Eliptik ve küt burun yapılarına sahip torpido benzeri geometrilerin $Re=20 \times 10^3$ 'te aralarındaki mesafeye bağlı ve firar bölgelerinde oluşan akış yapısını detaylı incelemek için Şekil 4.6.a 'da ve Şekil 4.6.b' de ortalama reynolds gerilme korelasyonu çalkantı konturları $\langle u'v' / U_\infty^2 \rangle$ karşılaştırılması verilmiştir. Torpido benzeri geometriler arasında ve ikinci geometri art izi bölgesinde oluşan akış alanları detaylı incelendiğinde negatif ve pozitif Reynolds gerilme çalkantı konturlarının $\langle u'v' / U_\infty^2 \rangle$ oluşumu gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen verilerde tek bir torpido benzeri geometrinin art izinde görülen alt ve üst kayma tabakaları etkileşimleri sonucunda düzenli ve simetrik akış yapısı gözlemlenmiştir.

Tandem düzende yerleştirilmiş torpidoların açıklık mesafelerinin artırılmasına bağlı birinci geometri art izindeki görüntü alanı 1' de oluşan çalkantının maksimum ve minimum değerlerinin $G/L=0.30$ durumuna kadar genel olarak artma trendinde, ancak $G/L=0.60$ durumuna kadar ise azalma trendinde olduğu gözlemlenmiştir.

Eliptik burun yapısına sahip ikinci geometri art izi bölgesini incelediğimizde torpidolar arası mesafeye bağlı TKE kontur değerlerinde çok net olmamakla birlikte bir artış trendinde olduğunu görebiliriz, ancak küt burunlu model ikinci geometri art izinde belirli bir artış trendi yoktur. Bunun sebebi küt burunlu geometrinin birinci geometri art izinden gelen TKE kontur yapılarına uyguladığı blokaj etkisi ve konturları parçalayıp daha düzensiz bir yapıya geçirmesidir. Genel olarak tüm alanlarda eliptik burun yapısına sahip geometride alt ve üst kayma tabakalarının açıklık oranı artışıyla art izindeki birbirlerine olan uzaklığının azaldığı, kontur yapılarının uzamasının azaldığı ve kontur yapılarının küçülerek geometri kuyruk bölümüne yaklaştığı

görülmüştür. Benzer şekilde küt burunlu model için bu etkilerin eliptiğe göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Eliptik ve küt burun yapılarına sahip torpido benzeri geometrilerin $Re=20 \times 10^3$ 'te aralarındaki mesafeye bağlı ve fırar bölgelerinde oluşan akış yapısını detaylı incelemek için Şekil 4.7.a'da ve Şekil 4.7.b'de ortalama akım yönündeki hız bileşeni konturları $\langle u/U_\infty \rangle$ karşılaştırılması verilmiştir. Tek bir torpido için minimum değeri $\langle u/U_\infty \rangle = -0.05$ iken, birinci geometrinin minimum değeri -0.04 ve ikinci geometrinin -0.02 dir. Tekli torpido art izinde kuyruk bölümüne yakın yerde akım yönündeki hız konturlarında hızın sıfır olduğu bölge net bir şekilde gözlemlenmektedir. Tandem dizilimde ise bu durum G/L açıklık oranlarına göre değişiklikler göstermektedir. Negatif değere sahip hız profilleri, art izi bölgesinde bir girdap alanı oluştuğunu ve akışın zıt yönde hareket bölgesi oluşturduğunu göstermektedir. $0.075 \leq G/L \leq 0.225$ aralığında negatif hız profillerinin oluşumu gözlemlenmektedir. G/L açıklık oranı artışıyla art izindeki üniform akış hızına yaklaşan hız değerlerine ait kontur alanlarında artma olduğu her iki durumda da görülmektedir. Ayrıca kontur yapılarındaki uzamanın azaldığı ve art izlerinin küçülerek kuyruk bölümüne yaklaştığı belirlenmiştir. Birinci geometri art izindeki akım yönündeki hız bileşeni konturları da açıklık oranı arttıkça boyutsuz üniform akış hızı olan 1 değerine yaklaşma eğiliminde olduğu kontur alanlarının dağılımından anlaşılmaktadır. Sonuç olarak $G/L=0.60$ durumunda her iki geometride neredeyse tekli model gibi davranmaktadır. Birinci geometrinin ikinci geometriye olan etkisi oldukça azalmıştır.

Eliptik ve küt burun yapılarına sahip torpido benzeri geometrilerin $Re=20 \times 10^3$ 'te aralarındaki mesafeye bağlı ve fırar bölgelerinde oluşan akış yapısını detaylı incelemek için Şekil 4.8.a'da ve Şekil 4.8.b'de ortalama akım yönüne dik hız bileşeni konturları $\langle v/U_\infty \rangle$ karşılaştırılması verilmiştir. Tek ve tandem düzenlemeli torpido benzeri geometrilerin art izi bölgeleri incelendiğinde negatif ve pozitif akım yönüne dik hız bileşeni konturlarının oluşumu görülmektedir. Her iki burun yapısına sahip tekli torpido benzeri geometrilerin art izinde negatif akım yönüne dik hız bileşeni konturlarının kapladığı alan pozitiflere göre fazla olduğu gözlemlenmiştir. Tandem olarak düzenlenmiş durumlara gelindiğinde $0 \leq G/L \leq 0.15$ aralığındaki durumlarda birinci torpido benzeri geometri art izinde GA1'de akım yönüne dik hız bileşeni

konturlarının gelişimi tam olarak tamamlanmadan oldukça yakın olan ikinci torpido benzeri geometriyle karşılaşmasıyla parçalanarak devam etmektedir ve ikinci geometri art izinde akım yönüne dik hız bileşeni konturları daha net bir şekilde gözlemlenmektedir.

$0.225 \leq G/L \leq 0.60$ aralığında ise açıklık oranı artışıyla GA1'deki akım yönüne dik hız bileşeni konturlarının kapladığı alanlar artarak görüntüleme alanı boyuna ikinci geometriye doğru uzadığı görülmektedir. Aynı zamanda birinci ve ikinci geometri art izindeki konturların şekilsel ve Min., Max. değerleri olarak birbirlerine oldukça benzer olmaya başladıkları açıkça gözlemlenmektedir. Ayrıca daha önce anlık vektör alanlarında görülen ve bahsedilen Von Karman girdap caddesi etkisi burada açıkça gözlemlenmektedir, birinci geometri art izinde alt kayma tabakasından gelen pozitif konturların ikinci geometri burnunun üst kayma tabakasına geçtiği ve aynı şekilde devam ederek ikinci geometri art izinde yine pozitif akım yönüne dik hız bileşeni konturu olarak geometriyi terk ettiği görülmektedir. Birinci geometri art izinden gelen akışın ikinci geometri burnuna çarpmasıyla oluşan akım yönüne dik hız bileşeni konturlarının kapladıkları alanların ve Min. ve Max. değerlerinin açıklık oranı artışıyla arttığı, ayrıca burun ucuna doğru hareket ettiği gözlemlenmiştir. Bunlara ek olarak burunda oluşan konturlardan negatif konturların pozitiflere göre daha baskın olduğu hatta küt burun yapısına sahip olan geometride bu durumun etkisinin eliptik burunlu geometriye oranla daha fazla olduğu açıkça görülmektedir. Tandem dizilimdeki tüm alanlarla tekli geometri art izini karşılaştırdığımızda tekli model art izindeki uzamanın diğerlerinden fazla olduğu belirlenmiştir. Tandem dizilimde genel açıklık oranı artışıyla ikinci model art izinin küçülerek geometriye yaklaştığı, ancak bu etkinin küt burunlu modelde daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. $G/L=0.45$ ve $G/L=0.60$ durumlarında her iki model art izindeki kontur yapılarının ve değerlerin tekli model art izine göre oldukça yaklaştığı gözlemlenmiştir. Bu durumda bu açıklık oralarında artık geometrilerin tekli model gibi davranmaya başladığı ve birinci geometri art izinin ikinci geometriye etkisinin oldukça azaldığı söylenebilir. Ayrıca art izindeki küçülme gürültünün de azalması anlamına gelmektedir.

Eliptik ve küt burun yapılarına sahip torpido benzeri geometrilerin $Re=20 \times 10^3$ 'te aralarındaki mesafeye bağlı ve firar bölgelerinde oluşan akış yapısını detaylı

incelemek için Şekil 4.9.a'da ve Şekil 4.9.b'de ortalama akım çizgilerinin $\langle \Psi \rangle$ karşılaştırılması verilmiştir. Üç boyutlu akışların topolojisi hakkında daha ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır [64]. Şekil 4.9.a'da görüldüğü üzere $G/L=0$ aralık oranında eliptik burun yapısına bakıldığında üç adet odak noktası (F_1 , F_2 ve F_3) ve bir durma noktası (S) oluşmuştur. $GA1$ 'de görüldüğü gibi birinci ve ikinci torpido benzeri geometrilerin arasındaki kısıtlı bölgedeki odak noktaları F_1 , $x/D=4.87$ ve $y/D=0.31$ ve F_2 , $x/D=4.98$ ve $y/D=-0.39$ simetrik bir akım çizgisi oluşturmuştur. İkinci geometrinin burnuna çarpan akışın etkisiyle $GA2$ 'de art izi bölgesi incelendiğinde bir odak (F_3 , $x/D=9.71$ ve $y/D=0.28$) ve bir durma noktası (S , $x/D=9.83$ ve $y/D=0.21$) olduğu ve bu noktaların geometri kuyruk kısmının üst tarafına doğru yığıldığı görülmektedir, sonuç olarak akım çizgilerinde asimetric bir görüntüye ulaşılmıştır. Küt burun yapısı incelendiğinde $GA2$ 'de burun yapısının etkisiyle çalkantılı akış daha yoğundur ve bu sebeple net bir odak noktası ya da yapı oluşumu görülmektedir. $G/L=0.075$ aralık oranında eliptik ve küt burun yapılarına sahip geometrilerin $GA1$ 'de akış ayrılmaları incelendiğinde eliptik burun yapısına sahip geometriye ait akım çizgilerinde oluşan simetrik düğüm noktaları (N), N_1 , $x/D=5.32$ $y/D=0.45$ ve N_2 , $x/D=5.28$ $y/D=-0.28$ iken küt burun yapısına bakıldığında ise simetrik iki odak noktası F_1 , $x/D=5.23$ $y/D=0.36$ ve F_2 , $x/D=4.91$ $y/D=-0.20$ olduğu gözlemlenmiştir. $GA2$ 'de eliptik burun yapısına ait akım çizgilerinde durma noktası S , $x/D=9.93$ ve $y/D=0.09$ oluşurken küt burun yapısına ait akım çizgilerinde bir yapı oluşmadığı gözlemlenmiştir. Eliptik burun yapısına sahip torpido benzeri geometrilerin $G/L=0.15$ durumunda $GA1$ 'de at nalı girdap yapısının olduğu ve birinci geometri art izinden ikinci geometri burnuna kadar uzayarak temas ettiği açıkça görülmektedir. Ancak küt burunlu geometride bu yapının bozulduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca $G/L=0.15$ durumunda eliptik ve küt burun yapısına sahip torpidoların $GA1$ 'de tamamlanmamış odaklar olduğu gözlemlenmiştir. $G/L=0.15$ 'te akım çizgilerinin oluşturduğu yapıların koordinatlarını inceleyecek olursak eliptik burunlu torpido benzeri geometri $GA1$ 'de oluşan odak noktası F_1 , $x/D=5.52$ ve $y/D=0.23$ iken küt burun yapısına sahip torpido benzeri geometrinin odak noktası F_1 , $x/D=4.92$ ve $y/D=-0.24$ tür. Oluşan bu odak noktalarının eliptik buruna ait odak noktasının y/D koordinatında pozitif bölgedeyken küt burna ait odak noktasının negatif bölgede yer alması burun yapısının akım çizgilerini nasıl etkilediği hakkında bilgi vermektedir. $GA2$ 'de eliptik burun yapısına ait art izi incelendiğinde F_2 , $x/D=10.90$ ve $y/D=0.24$ ve durma noktası S , $x/D=10.95$ ve $y/D=$

0.40 iken küt burun yapısına bakıldığında ise durma noktası S, $x/D=10.85$ $y/D=-0.25$ dır. Oluşan bu durma noktalarının eliptik burna ait durma noktasının y/D koordinatında pozitif bölgedeyken küt burna ait durma noktasının negatif bölgede yer alması burun yapısının akım çizgilerini nasıl etkilediği hakkında bilgi vermektedir. $G/L=0.225$ mesafe oranında eliptik burna sahip torpido benzeri geometrilerin görüntüleme alanlarında bir adet odak noktası F_1 ve iki adet duraklama noktası S_1 ve S_2 olduğu görülmektedir. Bu yapıların koordinatları ise F_1 ; $x/D=4.76$ ve $y/D=0.40$, S_1 ; $x/D=5.21$ ve $y/D=0.30$ ve S_2 ; $x/D=11.31$ ve $y/D=0.16$ 'dır.

Küt burun yapısına sahip torpidoların görüntülenme alanlarındaki akım çizgilerine bakıldığında ise bir adet durma noktası S; $x/D=5.86$ ve $y/D=0.01$ koordinatlarında olduğu ve konumunun ikinci geometri burun yapısının üst tarafına doğru kaydığı gözlemlenmiştir. $G/L=0.30$ aralık oranı incelendiğinde eliptik burun yapısına sahip torpido benzeri geometrilerin görüntüleme alanlarında birinci geometrinin kuyruk kısmından $0.7D$ uzaklıkta bir düğüm noktası (N), $x/D=5.60$ ve $y/D=-0.03$ koordinatlarında, bir adet F_1 odak noktası $x/D=5.21$ ve $y/D=-0.27$ olduğu gözlemlenmiştir. $G/L=0.45$ aralık oranında eliptik buruna sahip ard arda dizilmiş torpido benzeri geometrilerden birinci geometri art izine baktığımızda simetrik konumda olmayan iki adet odak noktası, F_1 ; $x/D=5.03$ ve $y/D=0.22$, F_2 ; $x/D=4.88$ ve $y/D=-0.25$ ve geometri simetri eksenini çizgisi üst tarafında bir adet duraklama noktası S_1 ; $x/D=5.26$ ve $y/D=0.19$ koordinatlarında olduğu görülmüştür. Ayrıca küt burun yapısına sahip geometriler incelendiğinde ise birinci geometri art izinde de iki adet odak noktası, F_1 ; $x/D=4.94$ ve $y/D=0.32$, F_2 ; $x/D=4.85$ ve $y/D=-0.16$ oluşmuş ancak eliptik burun yapısındakilere göre daha simetrik olma eğiliminde olduğu ve kuyruk kısmına yaklaştığı gözlemlenmiştir. $G/L=0.60$ aralık oranında eliptik burna sahip torpidoların görüntüleme alanları incelendiğinde birinci geometri art izinde $G/L=0.45$ durumunda olduğu gibi iki adet odak noktası olduğu ancak oldukça simetrik bir yapıda ve kuyruk üzerine doğru kaydığı görülmektedir, ayrıca bir adet duraklama noktası olduğu ve yine $G/L=0.45$ durumundan farklı olarak neredeyse geometri simetri eksenini üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Oluşan bu yapılara ait koordinatlar ise F_1 ; $x/D=4.85$ ve $y/D=0.20$, F_2 ; $x/D=4.99$ ve $y/D=-0.26$ ve S_1 ; $x/D=5.38$ ve $y/D=-0.12$ 'dir. Küt burunlu torpido benzeri geometrilerin görüntüleme alanları incelendiğinde ise sadece birinci geometri art izinde $x/D=4.85$ ve $y/D=0.34$

koordinatlarında odak noktası F_1 , oluşumu gözlemlenmiştir. Genel olarak eliptik burun yapısına sahip torpido benzeri geometrilerin tüm alanları incelendiğinde ikinci geometri art izinde burun yapısına bağlı olarak ve birinci geometri art izinden koparak devam eden ve ikinci geometri yüzeyince devam eden etkilenmiş akışın sürtünme ve diğer kayıpların etkisiyle genel momentumundaki düşüşten kaynaklı odak noktası ve duraklama noktası gibi yapıların sayılarının azaldığı, konum ve büyüklüklerinin değiştiği gözlemlenmiştir. Küt burunlu yapıları incelediğimizde ise ikinci geometri art izinde $G/L=0.15$ durumunda oluşan duraklama noktası hariç herhangi bir yapı oluşumu görülmemiştir. Bu durum küt burun yapısının birinci geometri art izinden gelen akışa daha fazla blokaj etkisiyle akışın enerjisini daha fazla düşürdüğü sonucuna ulaştırmıştır. Ayrıca ikinci geometri art izinde girdap oluşumu gibi yapıların oluşumunun azalması akış içindeki gürültünün azaldığı anlamına da gelmektedir. Akış daha stabil bir şekilde serbest akış hızına dönme eğilimi göstermektedir.

Eliptik ve küt burun yapılarına sahip torpido benzeri geometrilerin $Re=20 \times 10^3$ 'te aralarındaki mesafeye bağlı ve firar bölgelerinde oluşan akış yapılarını detaylı incelemek için Şekil 4.10.a'da ve Şekil 4.10.b'de ortalama akım yönündeki hız bileşeni türbülans çalkantı konturları $\langle u_{rms}/U_\infty \rangle$ karşılaştırılması verilmiştir. Şekil 4.10.a'da $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranlarına bağlı ortalama akım yönündeki hız bileşeni türbülans çalkantı konturları $\langle u_{rms}/U_\infty \rangle$ incelenmiştir. Öncelikle eliptik ve küt burna sahip tekli modellerin art izini karşılaştıracak olursak küt burun art izindeki üst kayma tabasının devamı olan maksimum kontur değerinin eliptik burunlu model art izindekinden daha düşük ancak art izlerindeki alt kayma tabasının devamındaki değerin küt burunda daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna ek olarak ise küt burunda Min. ve Max. değerlerinin bulundukları konumlara eliptiğe göre kuyruk bölümüne yaklaştığı belirlenmiştir. Çoklu dizilim durumlarında ise akış etkileşimleri farklılıklar göstermektedir.

$G/L=0$ durumunda yani torpido benzeri geometrilerin birbirlerine temas ettikleri durum her iki burun yapısına sahip geometrilerin tek bir geometri gibi hareket ettiği alt ve üst kayma tabakaları boyunca ilerleyen etkilenmiş akışın ikinci geometri kuyruk bölümü sonuna doğru akış ayrılmasına uğrayarak kuyruk kısmının ilerisinde bir bölgede etkileşime girdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca ikinci model arkasında gösterilen

Min. ve Max. değerlerinin tekli modeller art izindeki yapmış olduğumuz karşılaştırmamıza benzer şekilde olduğu ancak Min. ve Max. değerlerinin tekli modellerin art izindeki değerlerden büyük olduğu görülmektedir. Eliptik burunda $G/L=0.15$ açıklık oranına gelindiğinde GA1’de ortalama akım yönündeki hız bileşeni türbülans çalkantı konturlarının $\langle u_{rms}/U_{\infty} \rangle$ ikinci geometri burnu bölgesinde yoğunlaşmaya başladığı görülmektedir. Bu durumdaki GA1’de Min:0.176 ve Max:0.177’dir. G/L açıklık oranı artışıyla bazı durumlarda değerler anlık etkiyle yükseldiği gözlemlense de genel trend olarak kontur enerji seviyelerinin düşüşü yönündedir. $G/L=0.6$ durumunda GA1’de ortalama akım yönündeki hız bileşeni türbülans çalkantı kontur $\langle u_{rms}/U_{\infty} \rangle$ değerleri Min:0.117 ve Max:0.130 olduğu görülmektedir. Küt burunlu modellere ait GA1’de konturları değerlendirecek olursak iki geometri arasındaki ortalama akım yönündeki hız bileşeni türbülans çalkantı konturlarındaki $\langle u_{rms}/U_{\infty} \rangle$ kümelenme $G/L=0.075$ durumunda gözlemlenmeye başlanmıştır bu durum eliptik burunda daha geç oluşmuştur. Burun yapısındaki akışa etkisinin net bir şekilde görülen ilk etkilerden biridir. Küt burunda GA1’de ortalama akım yönündeki hız bileşeni türbülans çalkantı kontur $\langle u_{rms}/U_{\infty} \rangle$ Min. ve Max. değerleri eliptik burundakilere göre daha büyük olduğu görülmektedir. Ek olarak yine G/L artışıyla GA1’deki Min. ve Max. değerleri düşme trendindedir. $0.30 \leq G/L \leq 0.60$ aralık oranlarında oluşan kümelenmiş ortalama akım yönündeki hız bileşeni türbülans çalkantı konturları $\langle u_{rms}/U_{\infty} \rangle$ eliptik burun yapısında birinci geometrinin kuyruğuna yaklaşık uzaklığı $x/D= 5.3$ uzaklıkta oluşmaktadır ancak küt burun yapısına bakıldığında $G/L= 0.30$ için $x/D= 5.55$ mesafesinde oluşan konturlar $G/L= 0.60$ için $x/D= 5.13$ mesafesinde torpido kuyruğuna daha yakın mesafede olduğu gözlemlenmiştir. İkinci torpido benzeri geometri art izine yani GA2’ye gelindiğinde ise alt ve üst kayma tabakalarından gelen etkilenmiş akışın art izinde birbirleriyle etkileşime girerek bir kümelenme bölgesi oluşturduğu görülmektedir. Eliptik burna sahip geometrilerin GA2’deki Min. ve Max. değerleri incelendiğinde G/L açıklık oranı artışıyla düşme trendinde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca küt burunlu modellerde ise bu değerler eliptik burun değerlerine göre nispeten daha büyük ve yine G/L artışıyla değerlerin düşme eğiliminde olduğu net bir şekilde görülmektedir. $G/L=0.60$ durumunda gelindiğinde eliptik burunlu modellerin GA2’deki Min. ve Max. değerleri tekil model art izindeki değerlerden büyük olduğu ancak küt burunda ise bu değerlerin tekli model art izindekilerden küçük olduğu görülmektedir. Küt burunlu yapının art

izindeki ortalama akım yönündeki hız bileşeni türbülans çalkantı kontur $\langle u_{rms}/U_{\infty} \rangle$ değerlerini azaltmakta daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Eliptik burun yapısına sahip çoklu dizilimli geometrilerin GA2’de konturların görüntüleme alanı boyunca uzamasının G/L oranı artışıyla azaldığı ve art izinin küçülerek geometri kuyruk kısmına yaklaştığı gözlemlenmiştir. Küt burunlu yapıda ise eliptik burun için gözlemlendiğimiz etkilerin artarak devam ettiği görülmüştür.

Eliptik ve küt burun yapılarına sahip torpido benzeri geometrilerin $Re=20 \times 10^3$ ’te aralarındaki mesafeye bağlı ve firar bölgelerinde oluşan akış yapısını detaylı incelemek için Şekil 4.11.a’da ve Şekil 4.11.b’de ortalama akım yönüne dik hız bileşeni türbülans çalkantı konturları $\langle v_{rms}/U_{\infty} \rangle$ karşılaştırılması verilmiştir.

Şekil 4.11.a’ daki tekli torpido benzeri geometrilerin art izi bölgesinde ortalama akım yönüne dik hız bileşeni türbülans çalkantı konturlarının $\langle v_{rms}/U_{\infty} \rangle$ oldukça simetrik kümeler oluşturduğu görülmektedir.

Eliptik ve küt burun yapılarına sahip tekli torpido art izindeki Min. ve Max. kontur değerlerini incelediğimizde küt burunlu torpido benzeri geometri art izindeki ortalama akım yönüne dik hız bileşeni türbülans çalkantılarının $\langle v_{rms}/U_{\infty} \rangle$ eliptik buruna sahip geometrinin art izinekinden daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca art izinde oluşan yapıların küt burunlu yapıda kuyruk kısmına daha yakın olduğu belirlenmiştir. Çoklu dizilimde $G/L=0$ durumunda her iki burun yapısındaki geometrilerin etrafındaki akış yapısı incelendiğinde ikinci geometrilerin burun kısımlarında ortalama akım yönüne dik hız bileşeni türbülans çalkantı konturlarının $\langle v_{rms}/U_{\infty} \rangle$ oluşmaya başladığı yani birinci geometri art izinden çıkan akışın buruna çarparak yön değişimi yaptığı görülmektedir. İkinci geometri art izinde ise alt ve üst kayma tabakalarından gelen ve oldukça simetrik olduğu görülen konturların aralarındaki mesafe azalarak birbirleriyle etkileşime girmeye başladığı sarı renkli kontur bölgelerindeki değişimden anlaşılmaktadır. Eliptik buruna sahip geometrilerin GA1 bölgesi incelendiğinde G/L oranı artışıyla ortalama akım yönüne dik hız bileşeni türbülans çalkantı kontur $\langle v_{rms}/U_{\infty} \rangle$ değerlerinin $G/L=0.45$ durumuna kadar artma trendinde olduğu Min. ve Max. değerleri değişimiyle ve kontur renk yoğunluklarının değişimiyle de görülmektedir, ancak $G/L=0.45$ ve $G/L=0.60$ durumlarında düştüğü gözlemlenmiştir.

Benzer şekilde küt burna sahip geometrilerde de aynı durum geçerlidir ancak çalkantıdaki artış daha fazladır. Eliptik burunlu geometrilerin GA2’de ise kontur değerleri GA1’dekilerden küçüktür ve G/L oranı artışıyla genel trend artış yönündedir. Hatta G/L=0.60 durumunda ikici geometri art izindeki Max. değer tekli model art izindeki Max. değerinden büyüktür. Ayrıca G/L artışıyla art izindeki konturların kapladıkları alanda azalma olduğu ve geometri kuyruk bölümüne yaklaştığı görülmektedir. Küt burun yapısına sahip geometrilerin GA2 bölgesini incelediğimizde G/L orası artışıyla net bir azaltma veya artma trendi gözlemleyemiyoruz. Ancak küt burunlu yapının GA2’deki ortalama akım yönüne dik hız bileşeni türbülans çalkantı konturlarının $\langle v_{rms}/U_{\infty} \rangle$ değerlerini düşürmede yani çalkantıyı azaltmakta daha iyi olduğu görülmektedir. Bu durum su altındaki gürültünün azaltılması için çok önemlidir. Eliptik burunlu geometrilerin art izine benzer şekilde ve etkisi artarak ikinci geometri art izlerinin küçülerek kuyruk kısmına yaklaştığı belirlenmiştir.

Şekil 4.12’den ve Şekil 4.18’e kadar tüm şekillerde eliptik ve küt burun yapısına sahip torpedo benzeri geometrilerin tandem düzende, GA1 ve GA2’de geometriler çevresinde farklı noktalarda alınan akıma dik yöndeki hız bileşeninin güç spektrumları verilmiştir. İncelenen noktalarda boyutsuz Strouhal sayısı ($St = fL/U_{\infty}$) hesaplanmıştır.

Şekil 4.12.a’da ve Şekil 4.12.b’de G/L=0 mesafe oranına sahip eliptik ve küt burun yapısına sahip geometrilerin etrafındaki farklı noktalarda akım yönüne dik hız bileşeninin güç spektrumları verilmiştir. Eliptik burun için 3. ve 8. noktada alınan güç spektrumlarının tepe değerleri için ortalama frekans değerine bağlı $St=0,32$ olarak hesaplanmıştır. Küt burun yapısı için 3. ve 9. noktada alınan güç spektrumlarının tepe değerleri için ortalama frekans değerine bağlı $St=1,6$ olarak hesaplanmıştır. Her iki burun yapısının GA1’de oluşturduğu St sayılarının bağıl farkı $= ((1,6-0,32)/1,6) * 100 = \%80$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak farklı burunlar arasındaki bağıl fark $\%80$ ’dir. Eliptik burun için 4., 5. ve 10. noktalarından alınan güç spektrumlarının tepe değerlerine bağlı ortalama boyutsuz Strouhal sayısı $St= 1,72$ olarak hesaplanmıştır. Küt burun için 5., 6., 11. ve 12. noktalarında alınan güç spektrumlarının tepe noktaları için ortalama frekans değerine bağlı $St= 1,78$ olarak hesaplanmıştır. İki farklı burun yapısına sahip geometrilerin akışa dik yöndeki hız bileşeninin güç spektrumları incelendiğinde G/L=0 oranında iki farklı burun yapısının art izi bölgesinde

oluşturduğu St sayılarının bağıl farkı= $((1,78-1,72) / 1,78) * 100 = \%3.37$ veya $= ((1,78-1,72) / 1,72) * 100 = \%4.48$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak farklı burunlar arasındaki bağıl fark minimum $\%3.37$ 'dir. Küt burun yapısındaki geometrilerin art izinde St değerinin artması akışa dik yöndeki hız bileşenlerinin etkisinin eliptik burunlu yapınınkinden daha fazla olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.13.a'da ve Şekil 4.13.b'de $G/L = 0.075$ mesafe oranına sahip eliptik ve küt burun yapısına sahip geometrilerin etrafındaki farklı noktalarda akım yönüne dik hız bileşeninin güç spektrumları verilmiştir. Eliptik burun için 4. ve 11. noktalarından alınan güç spektrumlarının tepe değerleri için ortalama frekans değerine bağlı $St=1,1$ olarak hesaplanmıştır. Küt burun yapısı için 2. ve 7. noktalarından alınan güç spektrumlarının tepe değerleri için ise ortalama frekans değerine bağlı $St=1,23$ olarak hesaplanmıştır. Her iki burun yapısının GA1'de oluşturduğu St sayılarının bağıl farkı= $((1,23-1,1) / 1,23) * 100 = \%10,56$ veya $= ((1,23-1,1) / 1,1) * 100 = \%11,81$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak farklı burunlar arasındaki bağıl fark minimum $\%10,56$ 'dır. Burun yapısı etkisiyle burun kısmında oluşan kontur bölgeleri farklıdır dolayısıyla FFT uyguladığımız noktaların koordinatları birbirinden farklıdır. Bu durum küt burun yapısının akışa uyguladığı blokaj etkisinin daha fazla olmasıyla üniform akışın yön değiştirmesine sebep olarak akım yönüne dik yöndeki hız bileşenlerinin yoğunluğunu arttırmaktadır. GA2'ye gelindiğinde ise eliptik burun için 6., 7., 13. ve 14. noktalarından alınan güç spektrumlarının tepe değerleri için ortalama frekans değerine bağlı Strouhal sayısı $St= 1,87$ olarak hesaplanmıştır. Küt burun için 4., 5., 9. ve 10. noktalarından alınan güç spektrumlarının tepe noktaları için ortalama frekans değerine bağlı $St= 1,97$ olarak hesaplanmıştır. İki farklı burun yapısına sahip geometrilerin akışa dik yöndeki hız bileşeninin güç spektrumları incelendiğinde $G/L=0.075$ oranında iki farklı burun yapısının art izi bölgesinde oluşturduğu St sayılarının bağıl farkı= $((1,97-1,87) / 1,97) * 100 = \%5.07$ veya $((1,97-1,87) / 1,87) * 100 = \%5.348$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak farklı burunlar arasındaki bağıl fark minimum $\%5.07$ 'dir. Küt burun yapısındaki geometrilerin art izinde St değerinin artması akışa dik yöndeki hız bileşenlerinin etkisinin eliptik burunlu yapınınkinden daha fazla olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.14.a'da ve Şekil 4.14.b'de $G/L = 0.15$ mesafe oranında eliptik ve küt burun yapısına sahip geometrilerin farklı noktalarda güç spektrumları verilmiştir. Eliptik burun için 3. ve 8. noktalarından alınan güç spektrumlarının tepe değerleri için ortalama frekans değerine bağlı $St=1,6$ olarak hesaplanmıştır. Küt burun yapısı için 3. ve 8. noktalarından alınan güç spektrumlarının tepe değerleri için ortalama frekans değerine bağlı $St=1,33$ olarak hesaplanmıştır. Her iki burun yapısının GA1'de oluşturduğu St sayılarının bağıl farkı $= ((1,6-1,33) / 1,6) * 100 = \%16,87$ veya $((1,6-1,33) / 1,33) * 100 = \%24,81$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak farklı burunlar arasındaki bağıl fark minimum $\% 16,87$ 'dir. $G/L=0.075$ durumunda GA1'de eliptik burunlu modelin akım yönüne dik hız bileşeni konturları burun kısmından daha geri bir noktada yoğunlaştığı gözlemlenmişti ancak $G/L = 0.15$ durumunda eliptik burunda konturlar burun kısmına kaymıştır. Küt burunlu modelde oluşan konturların ise benzer koordinatlarda olduğu görülmektedir. $G/L=0.15$ durumunda FFT sonuçları karşılaştırmasında açıklık oranının artmasıyla eliptik buruna ait St değerinin küt burundakine göre daha büyük olduğu yani akım yönüne dik hız bileşenlerinin enerji seviyelerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu açıklık oranında birinci geometri art izinden gelen akım yönüne dik hız bileşeni konturlarının ikinci geometri burnuyla karşılaştığında küt burun yapılı geometrinin konturları daha küçük parçalara ayırdığı sonucuna varılabilir. GA2'de eliptik burun için 5., 6., 10. ve 11. noktalarından alınan güç spektrumlarının tepe değerleri için ortalama frekans değerine bağlı Strouhal sayıları $St = 1,58$ olarak hesaplanmıştır. Küt burun için 5., 6., 10. ve 11. noktalarında alınan güç spektrumlarının tepe noktaları için ortalama frekans değerine bağlı $St = 1,91$ olarak hesaplanmıştır. İki farklı burun yapısına sahip geometrilerin akışa dik yöndeki hız bileşeninin güç spektrumları incelendiğinde $G/L=0.15$ oranında iki farklı burun yapısının art izi bölgesinde oluşturduğu St sayılarının bağıl farkı $= ((1,91-1,58) / 1,91) * 100 = \%17,27$ veya $((1,91-1,58) / 1,58) * 100 = \%20,88$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak farklı burunlar arasındaki bağıl fark minimum $\%17,27$ 'dir. Küt burun yapısındaki geometrilerin art izinde St değerinin artması akışa dik yöndeki hız bileşenlerinin enerji seviyelerinin eliptik burunlu yapınınkinden daha fazla olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.15.a'da ve Şekil 4.15.b'de $G/L = 0.225$ mesafe oranına sahip eliptik ve küt burun yapısına sahip geometrilerin farklı noktalarda güç spektrumları verilmiştir.

Eliptik burun için iki geometri arasında 4. ve 11. noktalarından alınan güç spektrumunun tepe değerleri için ortalama frekans değerine bağlı $St = 1,18$ hesaplanmıştır. Küt burun yapısı için ise 3., 9. noktalarından alınan güç spektrumlarının tepe değerleri için ortalama frekans değerine bağlı $St = 1,42$ olarak hesaplanmıştır. Her iki burun yapısının GA1’de oluşturduğu St sayılarının bağıl farkı $= ((1,42-1,18) / 1,42) * 100 = \%16.9$ veya $((1,42-1,18) / 1,18) * 100 = \%20.33$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak farklı burunlar arasındaki bağıl fark minimum $\%16.9$ ’dur. $G/L = 0.225$ durumunda FFT sonuçları karşılaştırmasında açıklık oranının artmasıyla küt buruna ait St değerinin eliptik burundakine göre daha büyük olduğu yani akım yönüne dik hız bileşenlerinin enerji seviyelerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. GA2’de eliptik burun için 6., 7., 13. ve 14. noktalarından alınan güç spektrumunun tepe değerleri için ortalama frekans değerine bağlı $St = 1,17$ olarak hesaplanmıştır. Küt burun için 5., 6., 11. ve 12. noktalarından alınan güç spektrumunun tepe değerleri için ortalama frekans değerine bağlı $St = 1,28$ olarak hesaplanmıştır. İki farklı burun yapısına sahip geometrilerin akışa dik yöndeki hız bileşeninin güç spektrumları incelendiğinde $G/L = 0.225$ oranında iki farklı burun yapısının art izi bölgesinde oluşturduğu St sayılarının bağıl farkı $= ((1,28-1,17) / 1,28) * 100 = \%8.59$ veya $((1,28-1,17) / 1,17) * 100 = \%9.40$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak farklı burunlar arasındaki bağıl fark minimum $\%8.59$ ’dur. Küt burun yapısındaki geometrilerin art izinde St değerinin artması akışa dik yöndeki hız bileşenlerinin etkisinin eliptik burunlu yapınınkinden daha fazla olduğunu göstermektedir. Küt burun yapılı geometrilerin art izindeki (GA2) akım yönüne dik hız bileşeni konturlarının enerji seviyelerinin daha yüksek olduğunu St değerlerine bakarak söyleyebiliyoruz ancak FFT yapmak için belirlediğimiz noktaların konumlarını kıyaslayacak olursak küt burunlu yapıdaki geometrilerin art izindeki belirlemiş olduğumuz noktaların eliptik burunkilere göre geometriye daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum küt burun yapılı geometrilerin uzak art izi bölgesinde enerji seviyelerinin daha düşeceğini göstermektedir. Sonuç olarak art izi bölgesi kısalarak akış içindeki gürültü seviyesi düşecektir.

Şekil 4.16.a’da ve Şekil 4.16.b’de $G/L = 0.30$ mesafe oranına sahip eliptik ve küt burun yapısına sahip geometrilerin farklı noktalarda güç spektrumları verilmiştir. Eliptik burun için iki geometri arasında 1., 3., 8., ve 9. noktalarından alınan güç spektrumunun

tepe değerinin Strouhal sayısı $St = 1,36$ hesaplanmıştır. Küt burun yapısı için 1., 3., 8. ve 9. noktalarından alınan güç spektrumlarının tepe değerleri için ortalama frekans değerine bağlı $St=1,57$ olarak hesaplanmıştır. Her iki burun yapısının GA1’de oluşturduğu St sayılarının bağıl farkı= $((1,57-1,36) / 1,57) * 100 = \%13,37$ veya $((1,57-1,36) / 1,36) * 100 = \%15,44$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak farklı burunlar arasındaki bağıl fark minimum $\%13,37$ ’dür. GA1’de geometrilerin arasındaki FFT alınan noktalardan hesaplanan St sonuçlarına göre küt burunlu yapıdaki geometrilerin akım yönüne dik yöndeki hız bileşenlerinin enerji seviyelerinin eliptik burunlu yapıdakilere göre daha yüksek olduğu net bir şekilde gözlemlenmiştir. Eliptik burun için 5., 6., 7., 11., 12. ve 13. noktalarından alınan güç spektrumunun tepe değerleri için ortalama frekans değerine bağlı $St = 1,69$ olarak hesaplanmıştır. Küt burun için 5., 6., 7., 12., 13. ve 14. noktalarında alınan güç spektrumlarının tepe noktaları için ortalama frekans değerine bağlı $St = 1,52$ olarak hesaplanmıştır. İki farklı burun yapısına sahip geometrilerin akışa dik yöndeki hız bileşeninin güç spektrumları incelendiğinde $G/L=0.30$ oranında iki farklı burun yapısının art izi bölgesinde oluşturduğu St sayılarının bağıl farkı= $((1,69-1,52) / 1,69) * 100 = \%10,05$ veya $((1,69-1,52) / 1,52) * 100 = \%11,18$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak farklı burunlar arasındaki bağıl fark minimum $\%10,05$ ’tir. G/L açıklık oranı arttıkça hesaplanan St sonuçlarına göre küt burunlu geometrinin GA2’deki art izindeki akım yönüne dik yöndeki hız bileşenlerinin enerji seviyelerinde düşme gözlemlenmiştir.

Şekil 4.17.a’da ve Şekil 4.17.b’de $G/L = 0.45$ mesafe oranına sahip eliptik ve küt burun yapısına sahip geometrilerin farklı noktalarda güç spektrumları verilmiştir. Eliptik burun için iki geometri arasında 2., 3., 4., 10., 11. ve 12. noktalarından alınan güç spektrumunun tepe değerinin Strouhal sayısı $St = 1,84$ hesaplanmıştır. Küt burun yapısı için 3., 4., 5., 12., 13. ve 14., noktada alınan güç spektrumlarının tepe değerleri için ortalama frekans değerine bağlı $St=1,5$ olarak hesaplanmıştır. Her iki burun yapısının GA1’de oluşturduğu St sayılarının bağıl farkı= $((1,84-1,5) / 1,84) * 100 = \%18,47$ veya $((1,84-1,46) / 1,46) * 100 = \%22,66$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak farklı burunlar arasındaki bağıl fark minimum $\%18,47$ ’dir. Eliptik burun için 7., 8., 15. ve 16. noktada alınan güç spektrumlarının tepe değerleri birbirine eşittir. Ortalama boyutsuz Strouhal sayıları $St = 1,97$ olarak hesaplanmıştır. Küt burun için 8., 9., 17., ve 18. noktalarında alınan güç spektrumlarının tepe noktaları için ortalama frekans değerine bağlı $St =$

1,79 olarak hesaplanmıştır. İki farklı burun yapısına sahip geometrilerin akışa dik yöndeki hız bileşeninin güç spektrumları incelendiğinde $G/L=0.45$ oranında iki farklı burun yapısının art izi bölgesinde oluşturduğu St sayılarının bağıl farkı= $((1,97-1,79) / 1,97) * 100 = \%8,88$ veya $((1,97-1,79) / 1,79) * 100 = \%9,74$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak farklı burunlar arasındaki bağıl fark minimum $\%8,88$ 'dir. Küt burun yapısındaki geometrilerin art izinde St değerinin artması akışa dik yöndeki hız bileşenlerinin etkisinin eliptik burunlu yapınınkinden daha fazla olduğunu göstermektedir. Mesafe arttıkça St değeri küt burnun art izinde düşme trendine devam etmektedir. Bu da akış içindeki gürültünün azalması anlamına gelmektedir. Küt burunlu yapı bu açıdan eliptik burunluya göre daha avantajlıdır.

Şekil 4.18.a'da ve Şekil 4.18.b'de $G/L=0.60$ mesafe oranına sahip eliptik ve küt burun yapısına sahip geometrilerin farklı noktalarda güç spektrumları verilmiştir. Eliptik burun için iki geometri arasında 2., 3., 4., 10., 11. ve 12. noktada alınan güç spektrumunun tepe değerinin Strouhal sayısı $St=1,59$ hesaplanmıştır. Küt burun yapısı için 3., 4., 5., 12., 13., 14., ve noktada alınan güç spektrumlarının tepe değerleri için ortalama frekans değerine bağlı $St=1,71$ olarak hesaplanmıştır. Her iki burun yapısının GA1'de oluşturduğu St sayılarının bağıl farkı = $((1,71-1,59) / 1,71) * 100 = \%7,01$ veya $((1,74-1,59) / 1,59) * 100 = \%7,54$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak farklı burunlar arasındaki bağıl fark minimum $\%7,01$ 'dir. Eliptik burun için 6., 7., 8., 14., 15. ve 16. noktada alınan güç spektrumlarının tepe değerleri birbirine eşittir. Ortalama boyutsuz Strouhal sayıları $St=1,88$ olarak hesaplanmıştır. Küt burun için 7., 8., 9., 16., 17., ve 18. noktalarında alınan güç spektrumlarının tepe noktaları için ortalama frekans değerine bağlı $St=1,21$ olarak hesaplanmıştır. İki farklı burun yapısına sahip geometrilerin akışa dik yöndeki hız bileşeninin güç spektrumları incelendiğinde $G/L=0.60$ oranında iki farklı burun yapısının art izi bölgesinde oluşturduğu St sayılarının bağıl farkı= $((1,88-1,21) / 1,88) * 100 = \%35,63$ veya $((1,88-1,21) / 1,21) * 100 = \%55,37$ olarak hesaplanmıştır. Eliptik burun yapısında $St=1,88$ ve küt burun yapısında $St=1,21$ dir. Sonuç olarak farklı burunlar arasındaki bağıl fark minimum $\%35,63$ 'tür. Küt burun yapısındaki geometrilerin art izinde St değerinin artması akışa dik yöndeki hız bileşenlerinin etkisinin eliptik burunlu yapınınkinden daha fazla olduğunu göstermektedir.

Şekil 3.15'te şematik olarak gösterilen istasyonlara ait Reynolds gerilim korelasyonları $\langle u'v'/U_\infty^2 \rangle$ üzerinden alınan çizgisel verilere ait grafikler Şekil 4.19.a.1'de, Şekil 4.19.b.1'de, Şekil 4.19.a.2'de ve Şekil 4.19.b.2'de gösterilmektedir. Görüldüğü üzere, torpido benzeri geometrilerin art izi bölgelerinde oluşan küçük ve büyük ölçekli kümelenmeler nedeniyle reynolds gerilim korelasyonları $\langle u'v'/U_\infty^2 \rangle$ dalgalanmaktadır. Şekil 4.19.a.1'de, $G/L = 0$ oranında arka arkaya konumlandırılmış iki eliptik buruna sahip geometrilerden, birinci geometrinin kuyruğu ile ikinci geometrinin burnunun temasının etkisiyle akışın laminarlığı bozulmuştur ve bu sebeple K istasyonu boyunca dikey eksenle alınan noktasal verilerde birinci geometri gövdesi boyunca ayrılmış akışın alt ve üst kayma tabakalarının ikinci geometrinin burnuyla karşılaşması durumunda akışta Reynolds gerilimi korelasyonlarının şiddetinde azda olsa bozulmalar görülmüştür. Birinci ve ikinci geometriye ait (mavi ve turuncu) çizgisel verilerin asimetric olduğu $G/L = 0$ 'da görülmektedir. K istasyonunda tekli geometrinin art izi bölgesinde geometri gövdesi boyunca ilerleyen alt ve üst kayma tabakalarının kontur şiddetlerinin simetrikliğine bağlı olarak, tekli torpido (yeşil) çizgi grafiği de simetrik olarak elde edilmiştir.

K ve L istasyonlarına çizilen dikey eksenli noktasal verileri incelediğimizde, K istasyonundaki grafik verilerine göre mavi çizginin ikinci geometrinin bulunduğu konum ve burun yapısından etkilenmiş ve asimetric bir grafik oluşturduğu $G/L = 0.075$ durumunda gözlemlenmektedir. İkinci geometrinin art izi bölgesinde çizilen K istasyonunda yani turuncu renkle ifade edilmiş grafik incelendiğinde akışın çalkantı şiddeti yüksek ve simetrik davranışlarda bulunduğu gözlemlenmiştir. K istasyonunda tekli geometrinin art izi bölgesinde geometri gövdesi boyunca ilerleyen alt ve üst kayma tabakalarının kontur seviyelerinin oldukça simetrik olduğunu belirlemiştik, buna bağlı olarak tekli torpido (yeşil) çizgi grafiği de simetrik olarak çizilmiş olduğu gözlemlenmiştir. L istasyonunu incelediğimizde birinci geometrinin art izi bölgesinde akıştaki çalkantının sönümlendiği ve çalkantı şiddetinin sıfıra yaklaştığı mavi çizgideki değişimlerden anlaşılmaktadır. İkinci geometrinin art izi bölgesinde L istasyonu konumuna bakıldığında (turuncu) akışın şiddetli ancak asimetric olduğu görülmektedir. Tekli torpidonun art izi bölgesinde alınan değerlere bakıldığında (yeşil) akışın alt ve üst kayma tabaka şiddetleri yaklaşık aynı ancak simetriklikleri bozulmuştur.

$G/L = 0.15$ için K istasyonunda birinci ve ikinci geometrinin gövdeleri boyunca ilerleyen alt ve üst kayma tabakalarının şiddetlerini incelediğimizde birinci geometrinin çizgi grafiği asimetriktir ve çalkantı şiddetlerinin pozitifteki değeri negatiftekine kıyasla yarı yarıyadır. İkinci geometrinin çizgi grafiği incelendiğinde pozitif ve negatif yöndeki çalkantı şiddetleri birbirlerine yakındır ancak simetrik değildir. Geometrilerin M istasyonunda çizgisel grafiklerini incelediğimizde birinci geometrinin art izi bölgesinde geometri gövdesi boyunca ilerleyen alt ve üst kayma tabakalarının ikinci geometrinin burununa çarpması sonucunda akışın çalkantı şiddetini arttırdığı görülmektedir. İkinci geometrinin art izi bölgesinde M istasyonundaki çizgi grafiği incelendiğinde ikinci geometrinin gövdesi boyunca ilerleyen alt ve üst kayma tabakalarının ikinci geometrinin art izi bölgesinde birbirlerine yaklaştıkları, çalkantı şiddetlerinin yaklaşık eşit olduğu ve çalkantı şiddetlerinin iki geometri arasındaki bölgeden daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Tekli geometrinin M istasyonundaki çizgi grafiği asimetriktir ve alt ve üst kayma tabakasının çalkantı şiddetlerinin farklı olduğu görülmektedir.

Şekil 4.19.b.1’de küt burun yapısına sahip iki geometrinin farklı mesafe oranlarında K, L ve M istasyonlarında dikey ekseninde alınan noktasal ortalama Reynolds gerilme korelasyonu verileri incelenmiştir. Tekli torpido benzeri geometriye ait çizgisel grafiklerle karşılaştırılacaktır. $G/L = 0$ mesafe oranında K istasyonunda birinci geometrinin gövdesi boyunca ilerleyen alt ve üst kayma tabakası ikinci geometrinin küt burnuna çarpar böylece akışın şiddeti oldukça yüksektir ve çizgisel grafikleri simetriktir. İkinci geometrinin art izi bölgesinde ise akışın çalkantısı düşmüştür ancak grafik asimetriktir. Tekli torpido art izi bölgesinde alınan çizgisel verilerde akış çalkantı şiddeti birbirlerine eşit ve simetriktir. $G/L = 0.075$ için K istasyonunda birinci geometrinin gövdesi boyunca ilerleyen alt ve üst kayma tabakaları ikinci geometrinin küt burnuna çarparak geri döner bu çarpma akıştaki çalkantı şiddetini artırdığı görülmektedir. Grafikte (mavi) görüldüğü üzere birinci geometrinin çalkantı şiddeti çok yüksektir ancak simetrik değildir. İkinci geometrinin K istasyonundaki çizgisel verileri incelendiğinde akışın şiddeti birinci geometriye kıyasla daha düşüktür. L istasyonunda ise birinci geometrinin art izi bölgesinde oluşan şiddetli akışın etkisinin

daha da yüksek olduğu görülmektedir. İkinci geometrinin akış şiddeti K istasyonuna kıyasla yükselmiştir.

$G/L = 0.15$ için K istasyonunda birinci geometrinin çalkantı şiddeti M istasyonuna kıyasla daha düşüktür ancak hem K hem de M istasyonunda çizgisel grafikleri simetrik değildir. İkinci geometrinin art izinde oluşan çalkantılı akış incelendiğinde alt ve üst kayma tabakalarının birbirine yaklaşmasına bağlı olarak K ve M istasyonlarındaki ikinci geometriye ait grafiklerin pozitif ve negatif tepe noktalarının birbirine yaklaştığı görülmektedir ancak çalkantı şiddetleri eşit değildir.

Eliptik burun yapısına sahip tandem düzende çeşitli mesafe oranlarında konumlandırılmış iki torpido benzeri geometrinin firar bölgelerindeki K, M, N, O ve P istasyonlarında dikey ekseninde alınan noktasal ortalama Reynolds gerilme korelasyonu çalkantı verileri Şekil 4.19.a.2’de incelenmiştir. $G/L = 0.225$ mesafe oranında birinci geometrinin firar bölgesinde kayma tabakalarının oluşturduğu çalkantılı akış K, M ve N istasyonlarında incelendiğinde istasyonların mesafeleri geometri kuyruğundan uzaklaştıkça çalkantı şiddetinin arttığı görülmektedir. Aynı durum hem tekli geometrinin hemde ikinci geometrinin art izi bölgesinde görülmektedir.

$G/L = 0.30$ için tekli ve birinci geometrinin K istasyonunda oluşan akışın şiddeti yaklaşık olarak eşit olduğu görülmektedir ancak çalkantılı akışın olduğu konum geometrilerin kuyruklarına göre aynı lokasyonda değildir. Her bir geometrinin N istasyonunda oluşan çalkantı şiddeti K istasyonuna göre farklı oranlarda artış göstermiştir.

$G/L = 0.45$ için birinci geometrinin firar bölgesinde oluşan çalkantılı akışın şiddeti K istasyonunda tekli geometriyle benzerlik gösterse de N ve O istasyonlarında çalkantı şiddetleri yükselmiştir. İkinci geometrinin art izinde oluşan çalkantılı akış N istasyonunda K ve O istasyonlarında olduğundan daha yüksektir.

$G/L = 0.60$ için birinci geometrinin firar bölgesinde K, N, O ve P istasyonlarını incelediğimizde K istasyonunda çalkantılı akıştan çok az etkilendiği ve asimetrik

olduğu görülmektedir. N istasyonunda çalkantı şiddetinin arttığı ancak O ve P istasyonlarında şiddetin düştüğü ve simetriğe yaklaştığı görülmektedir. Tekli ve ikinci geometrinin art izi bölgesinde oluşan akışa bağlı olarak K, N, O ve P istasyonlarında da benzer yorum yapılabilir.

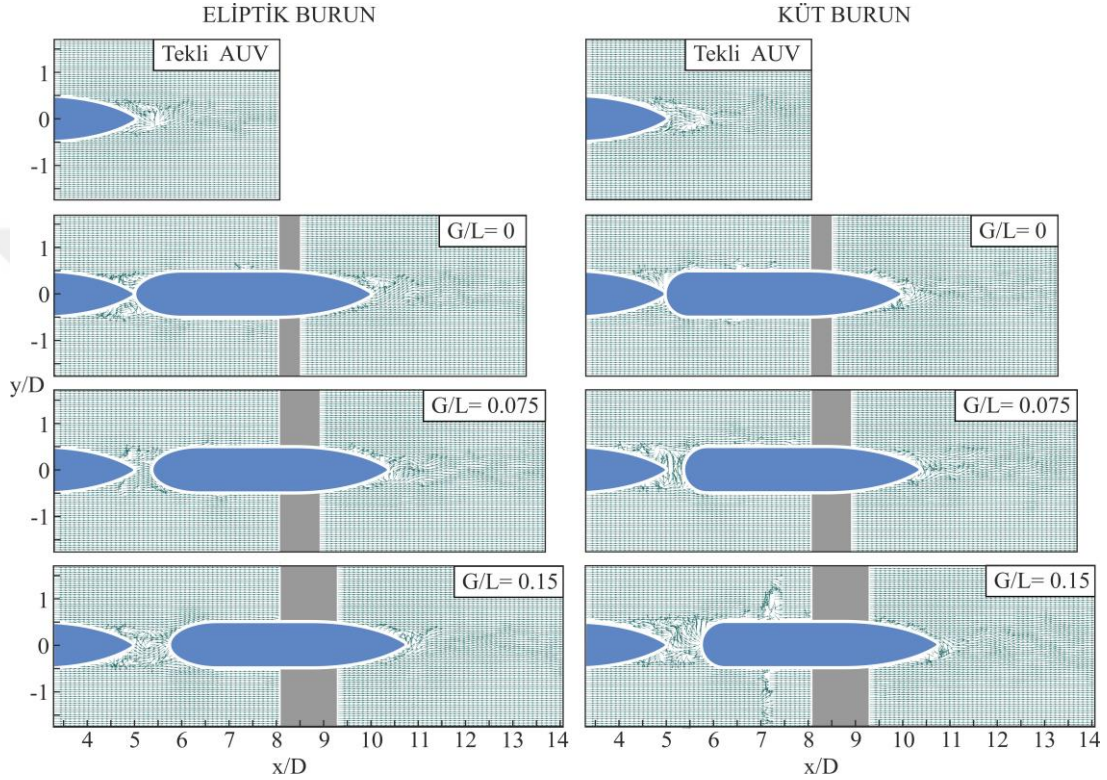
Küt burun yapısına sahip tandem düzende çeşitli mesafe oranlarında konumlandırılmış torpido ve benzeri geometrilerin firar bölgelerinde K, M, N, O ve P istasyonlarında dikey ekseninde alınan noktasal ortalama Reynolds gerilme korelasyonu çalkantı verileri Şekil 4.19.b.2' de incelenmiştir.

$G/L = 0.225$ mesafe oranında birinci geometrinin firar bölgesinde oluşan kayma tabakalarının oluşturduğu çalkantılı akış K, M ve N istasyonları incelendiğinde istasyonların mesafeleri geometri kuyruğundan uzaklaştıkça çalkantı şiddetinin arttığı görülmektedir.

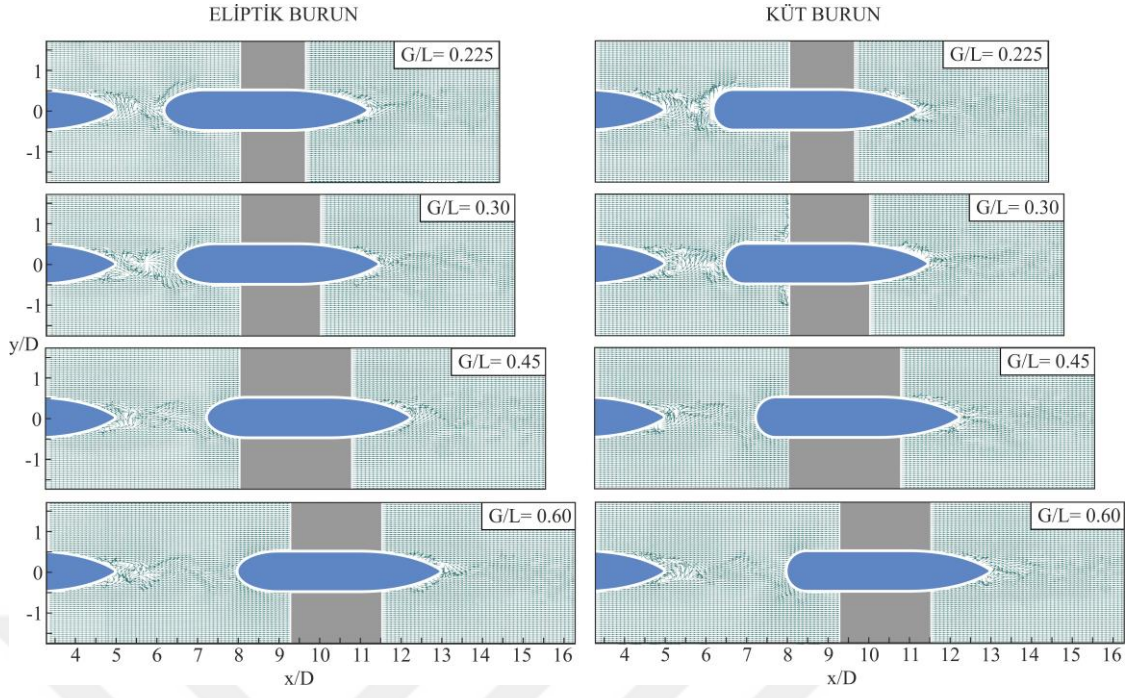
$G/L = 0.30$ için birinci geometrinin firar bölgesinde oluşan kayma tabakalarının oluşturduğu çalkantılı akış K ve N istasyonları incelendiğinde istasyonların mesafeleri geometri kuyruğundan uzaklaştıkça alt ve üst kayma tabakalarının çalkantı şiddetinin arttığı ancak bu artışın birbirine paralellik göstermemesine bağlı olarak mavi renkli grafiğin asimetrikleştirdiği görülmektedir. Çizgisel grafikleri verilen tekli ve ikinci geometrinin firar bölgelerinde oluşan alt ve üst kayma tabakalarının K ve N istasyonları incelendiğinde incelenen bölge kuyruktan uzaklaştıkça çalkantı şiddetinde artış gözlemlenmiştir. Grafiği incelediğimizde çalkantı seviyelerinde oluşan bu değişim alt ve üst kayma tabakasında da görülmektedir ancak çalkantı şiddetlerindeki artış benzerlik göstermemektedir.

$G/L = 0.45$ mesafe oranı için N ve O istasyonlarında her bir geometrinin noktasal çizgi grafikleri incelendiğinde K istasyonuna göre akışın daha karmaşık bir bölgeden verilerin alındığı ve bu sebeple noktasal çizgi grafiklerinin pozitif ve negatif değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu akış bu bölgede daha çalkantılı olduğu anlamına gelmektedir.

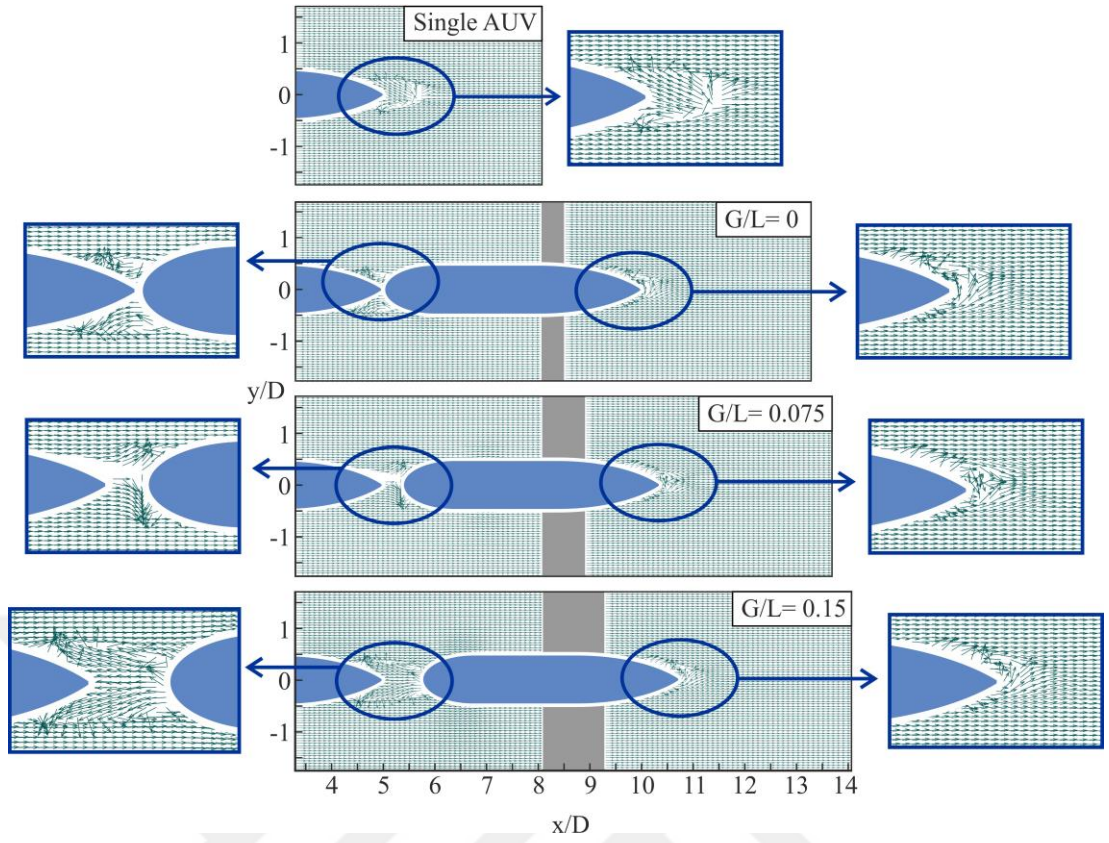
$G/L=0.60$ için geometrilerin kuyruk kısımlarından belirli uzaklıklarda alınan noktasal çizgi grafiklerini incelediğimizde K ve N istasyonlarında alt ve üst kayma tabakasının akış şiddetlerinde oluşan farklılıklar grafiklerden de net anlaşılmaktadır. Bu durum x ekseninde asimetrik bir grafik oluşturmuştur. O ve P istasyonlarında çalkantı şiddet aralıkları her grafik için ayrıdır ancak oluşan grafikler her bir geometri için simetriğe yakın bir karaktere sahip olduğu gözlemlenmiştir.



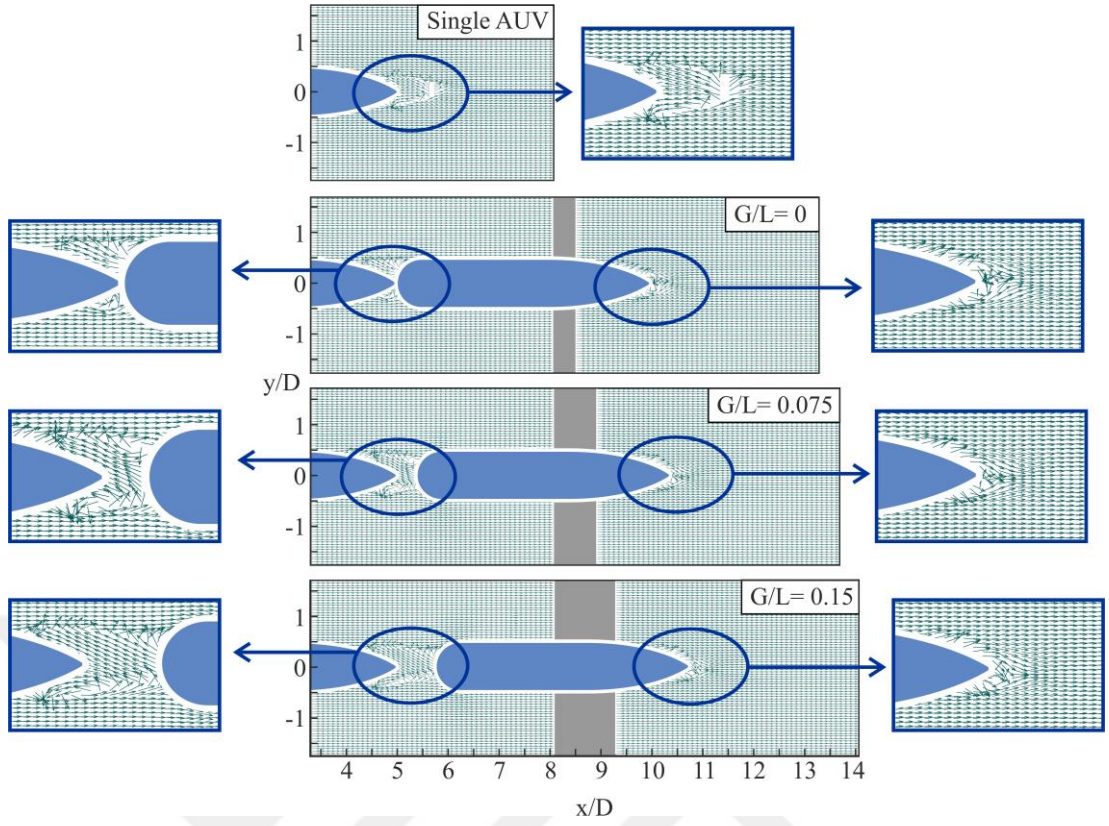
Şekil 4.1.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun yapısında kanatsız kuyruğa sahip torpedo benzeri geometrilerin $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına bağlı çevresinde oluşan akışın PIV deneylerinin anlık hız vektör (V) alanlarının karşılaştırılması



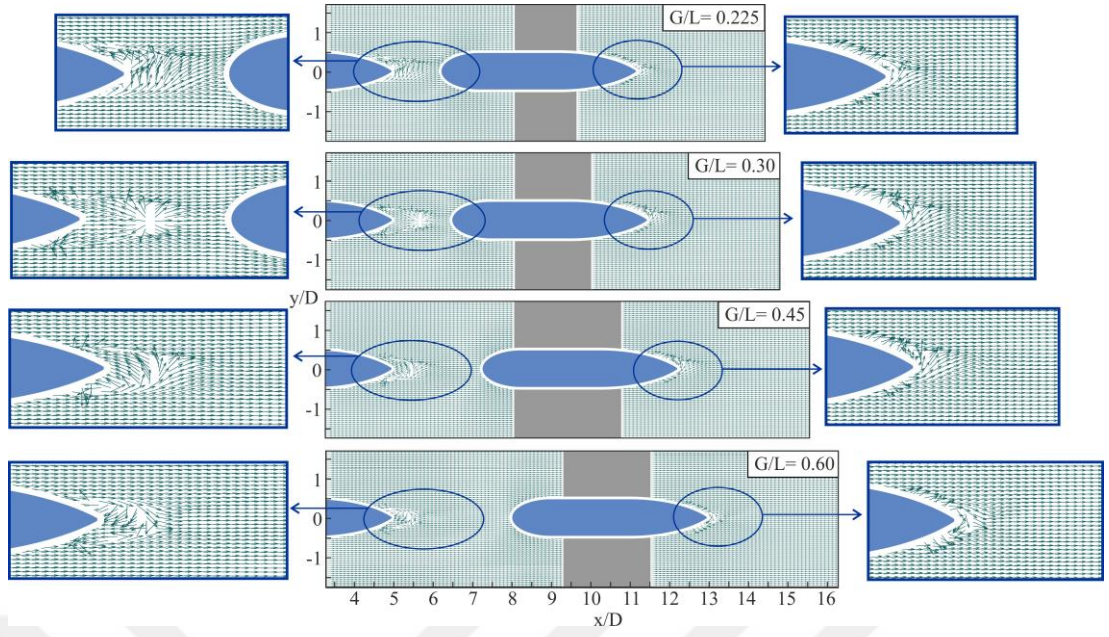
Şekil 4.1.b. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun yapısında kanatsız kuyruğa sahip torpedo benzeri geometrilerin $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına bağlı çevresinde oluşan akışın PIV deneylerinin anlık hız vektör (V) alanlarının karşılaştırılması



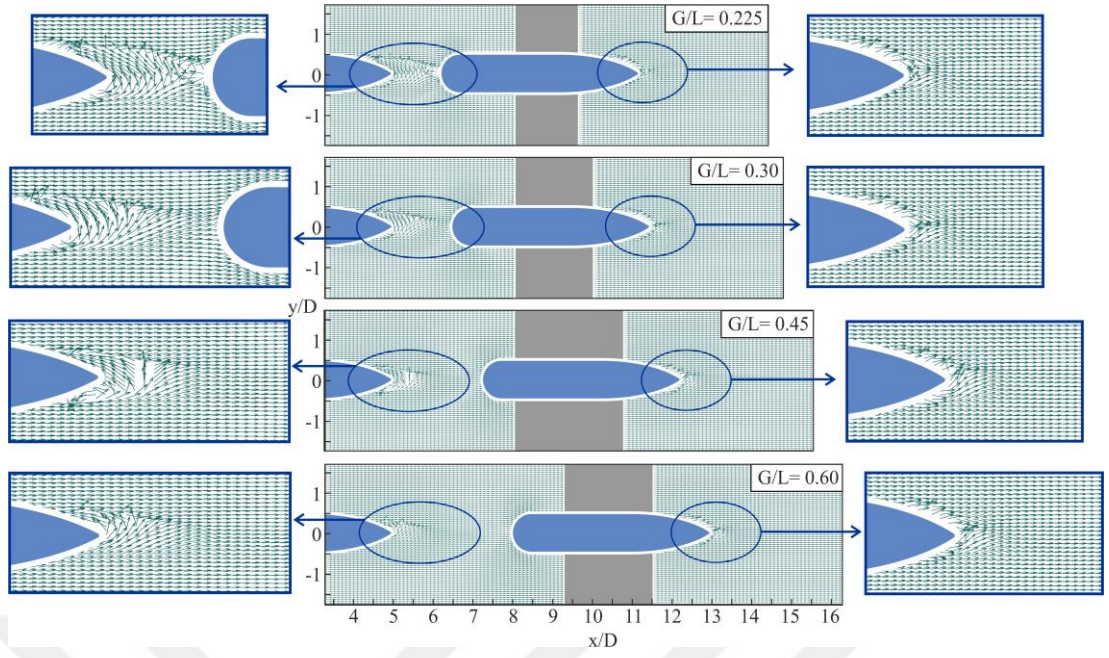
Şekil 4.2.1.a. Üniform akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin zaman ortalamalı hız vektör $\langle V \rangle$ alanlarının karşılaştırılması



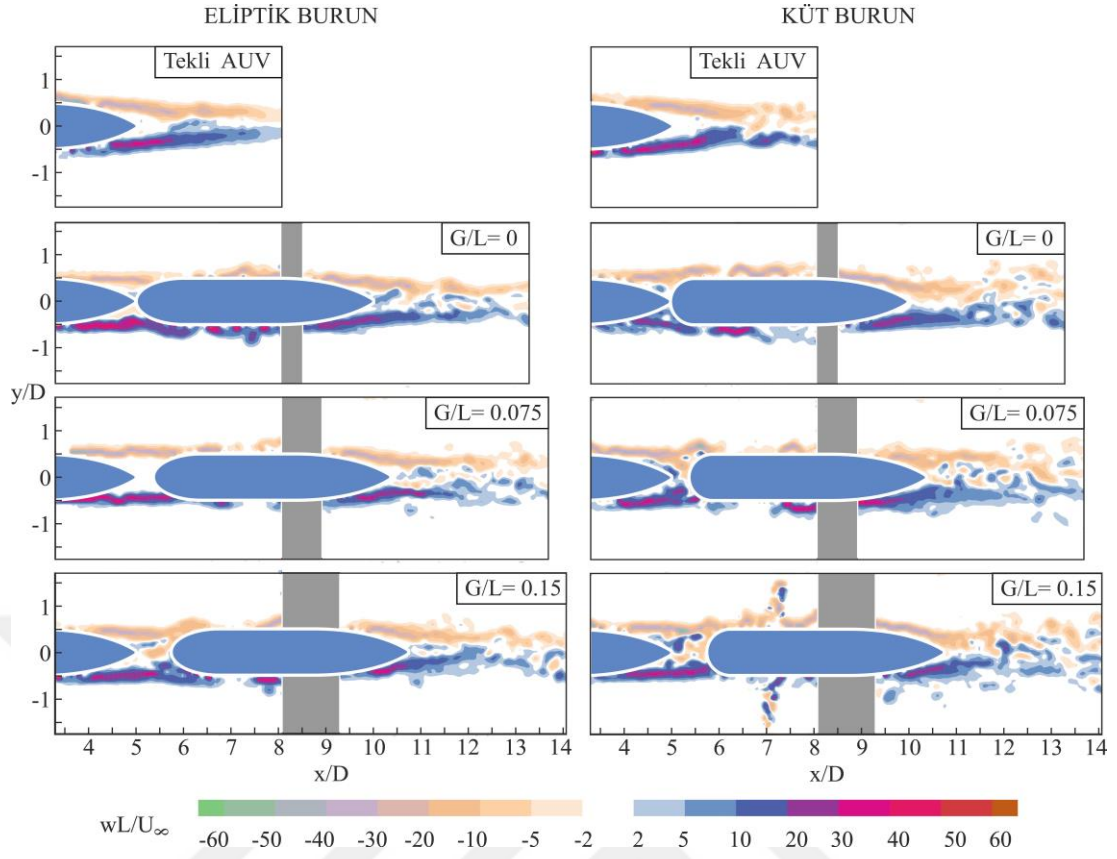
Şekil 4.2.2.a. Üniform akış şartlarında küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin zaman ortalamalı hız vektör $\langle V \rangle$ alanlarının karşılaştırılması



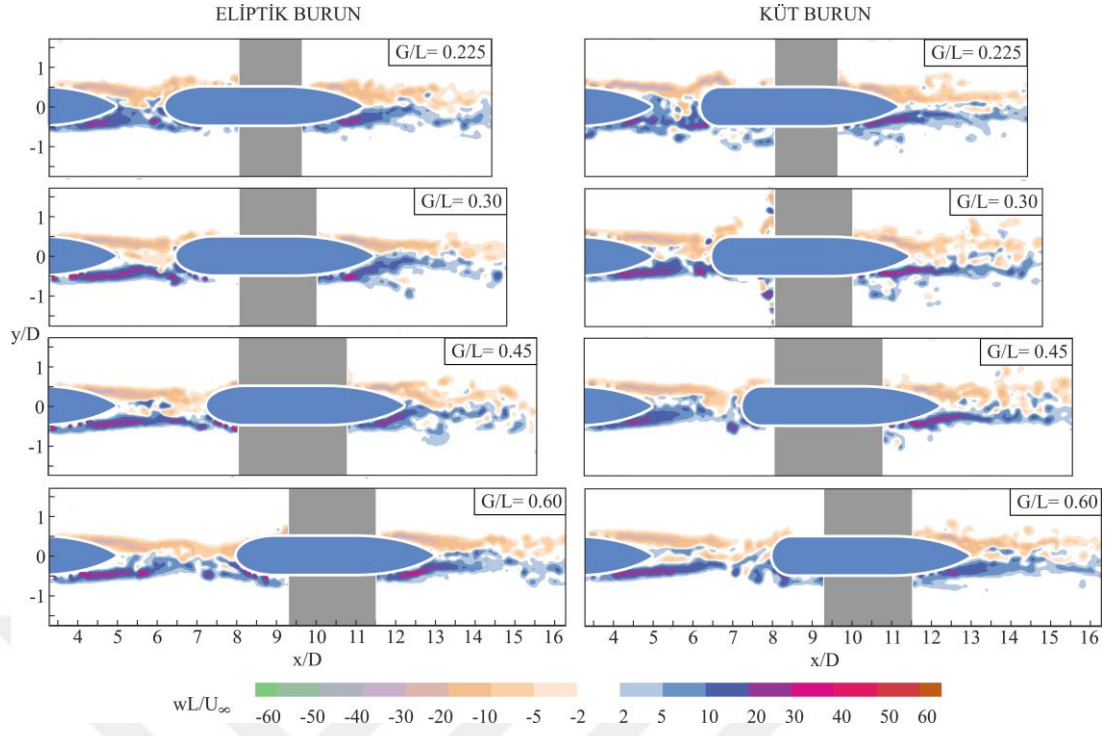
Şekil 4.2.1.b. Üniform akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin zaman ortalamalı hız vektör $\langle V \rangle$ alanlarının karşılaştırılması



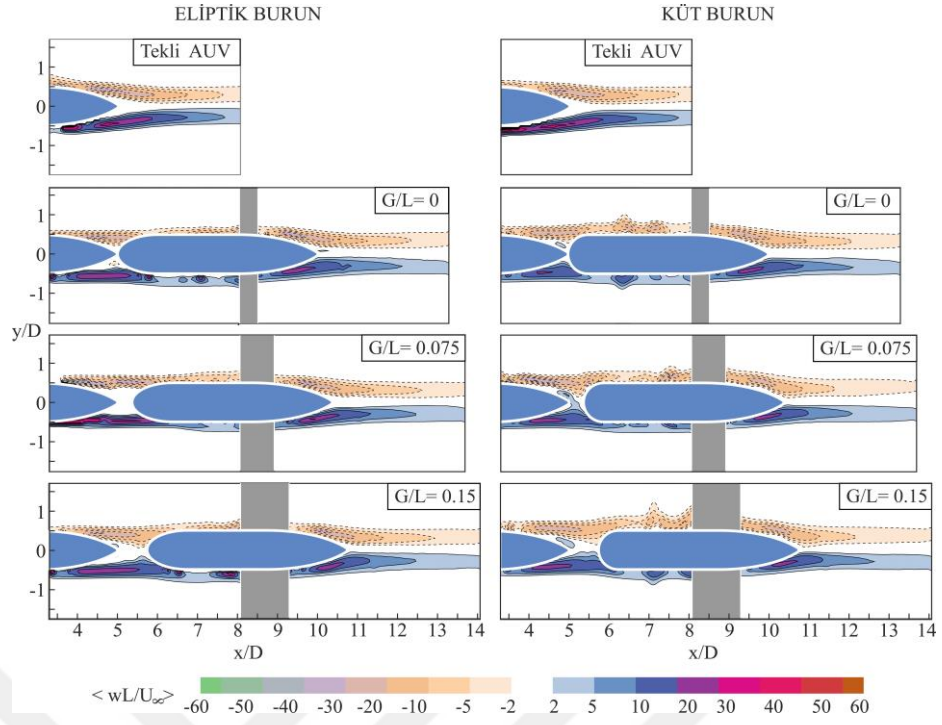
Şekil 4.2.2.b. Üniorm akış şartlarında küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin zaman ortalamalı hız vektör $\langle V \rangle$ alanlarının karşılaştırılması



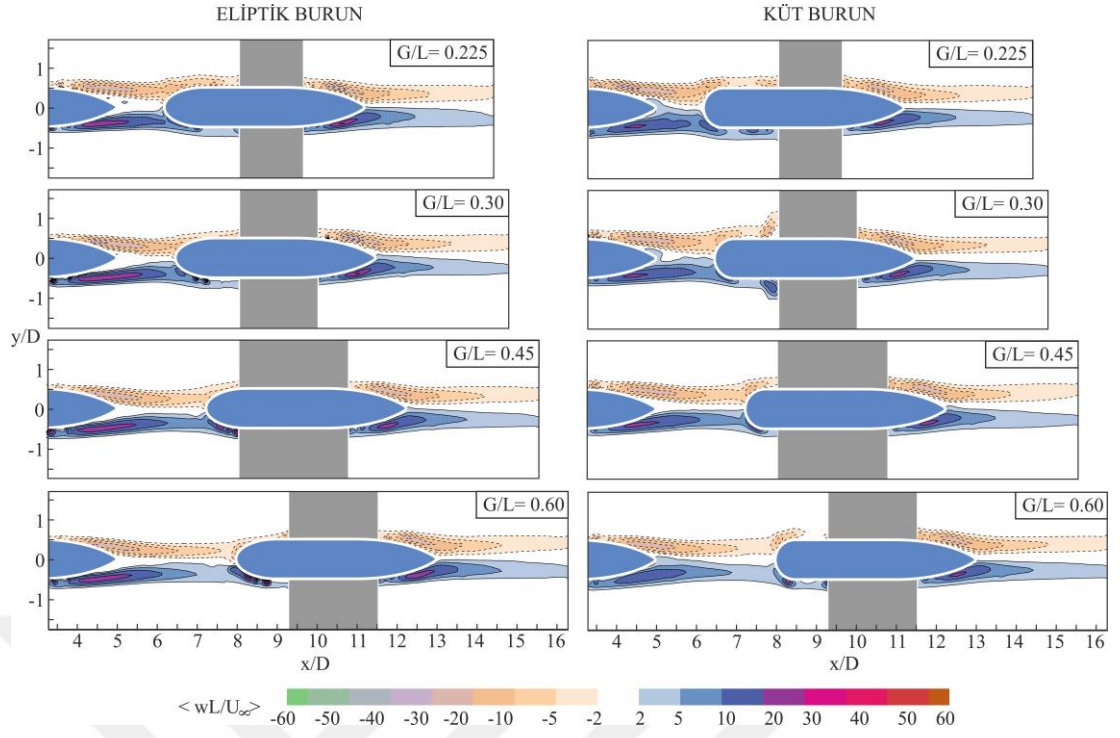
Şekil 4.3.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin anlık girdap (wL/U_∞) konturlarının karşılaştırılması



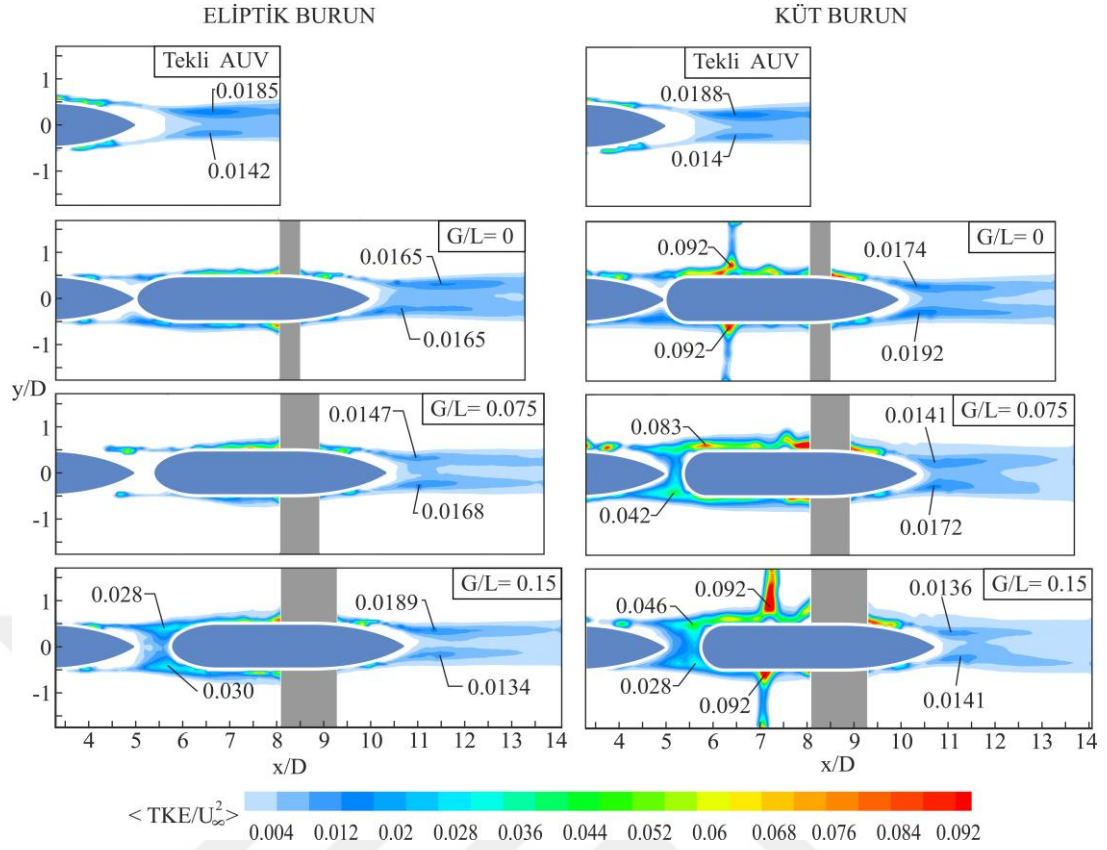
Şekil 4.3.b. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin anlık girdap (wL/U_∞) konturlarının karşılaştırması



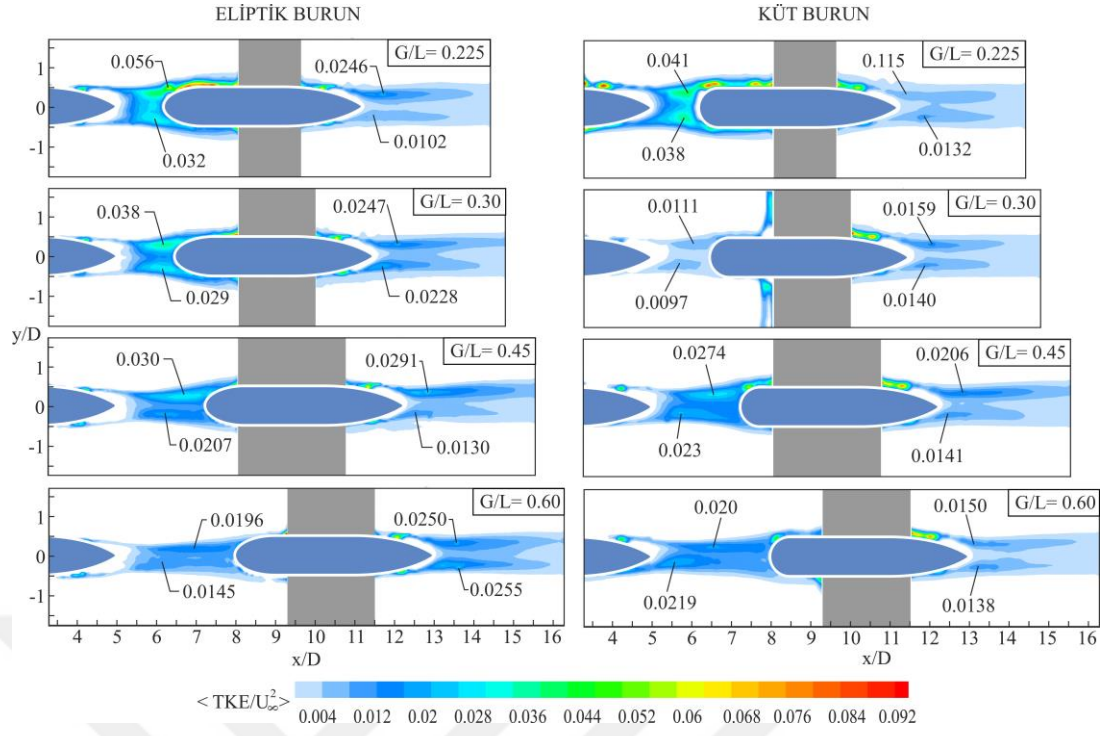
Şekil 4.4.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama girdap $\langle wL/U_\infty \rangle$ konturlarının karşılaştırılması



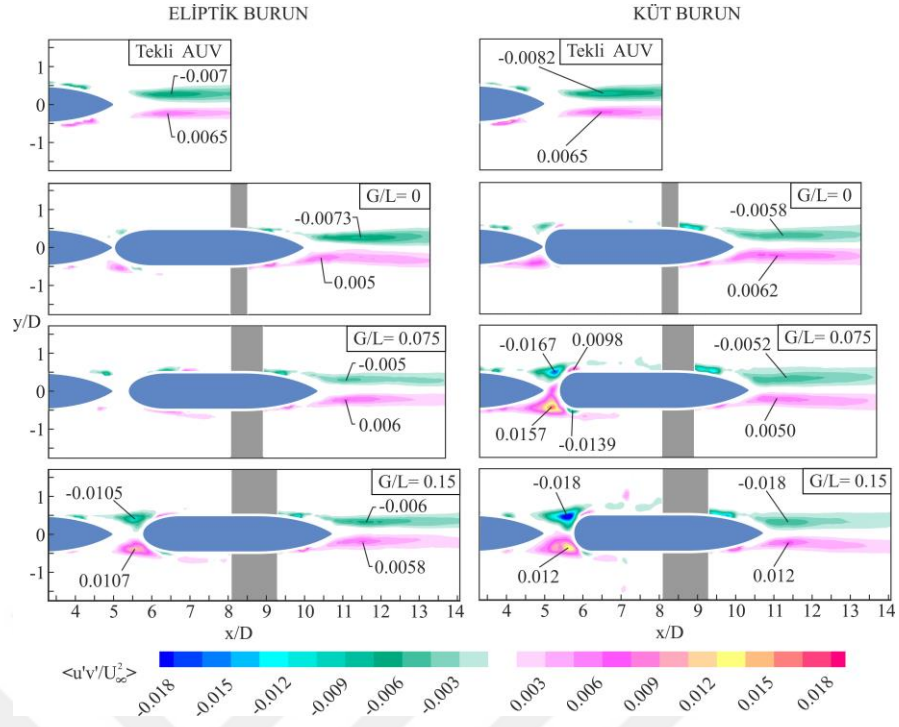
Şekil 4.4.b Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama girdap $\langle wL/U_\infty \rangle$ konturlarının karşılaştırılması



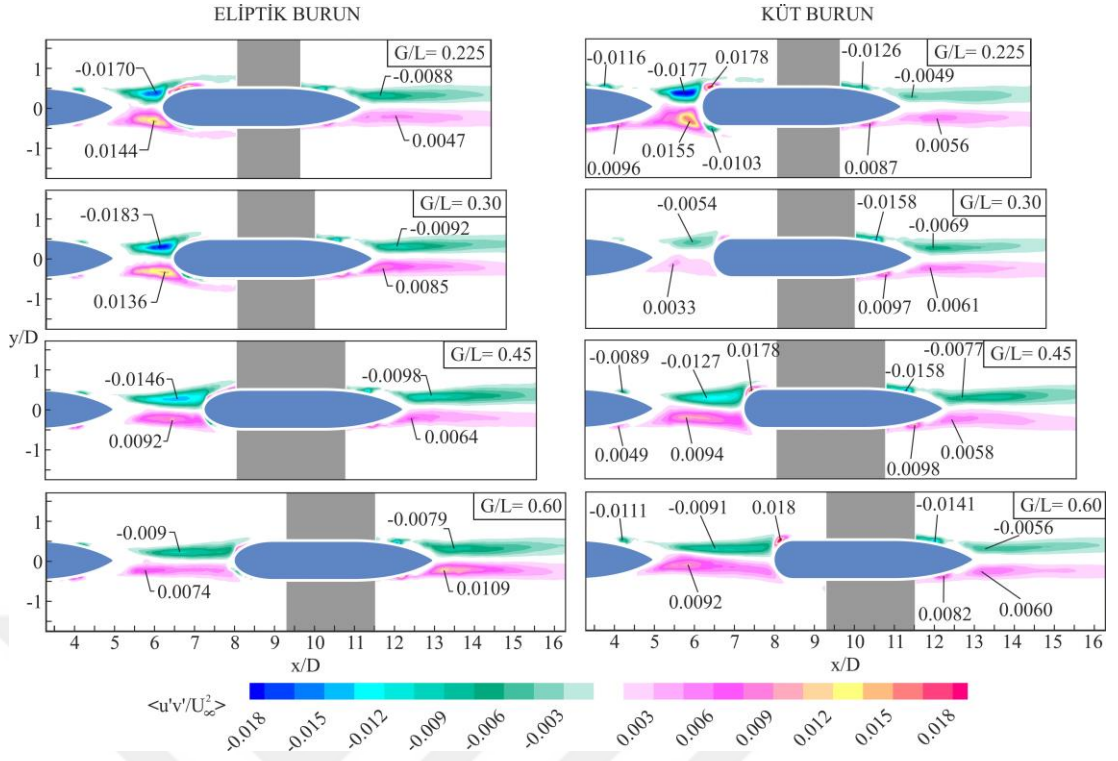
Şekil 4.5.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama türbülans kinetik enerji konturları $\langle T.K.E/U_{\infty}^2 \rangle$ karşılaştırılması



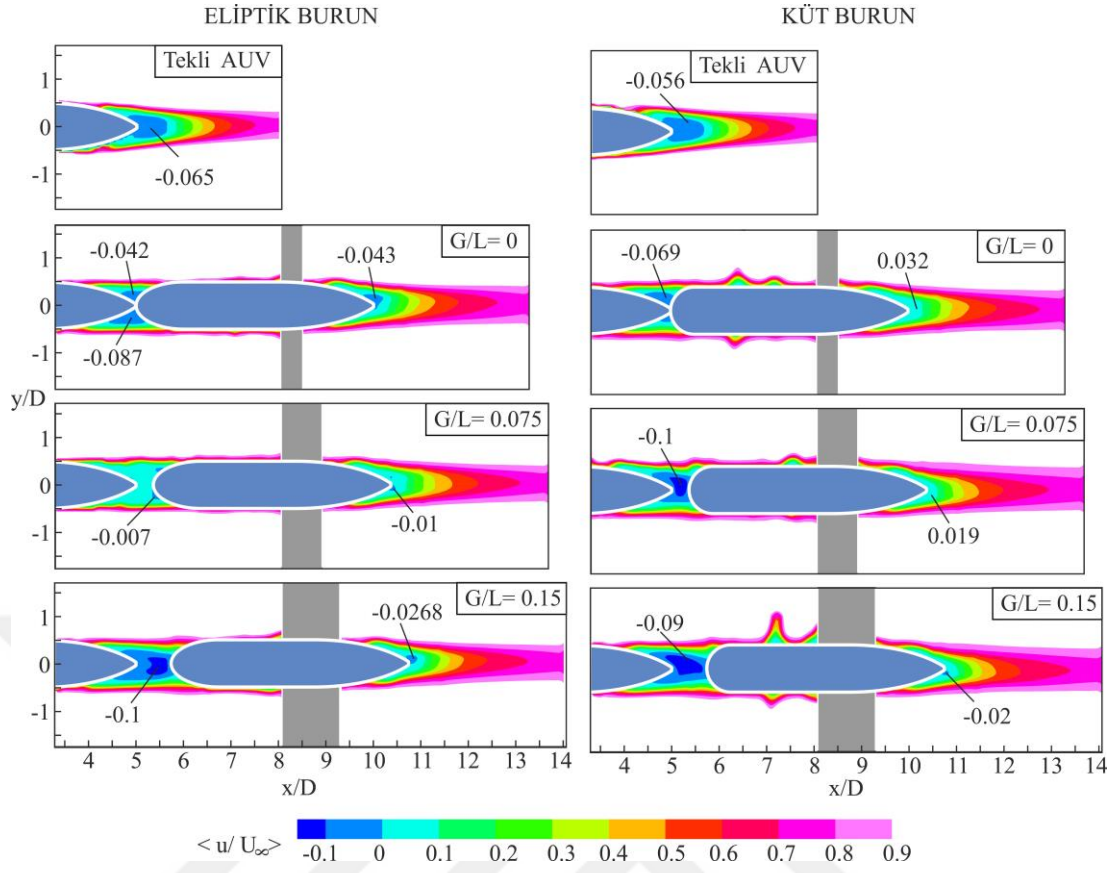
Şekil 4.5.b. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama türbülans kinetik enerji konturları $\langle T.K.E/U_\infty^2 \rangle$ karşılaştırılması



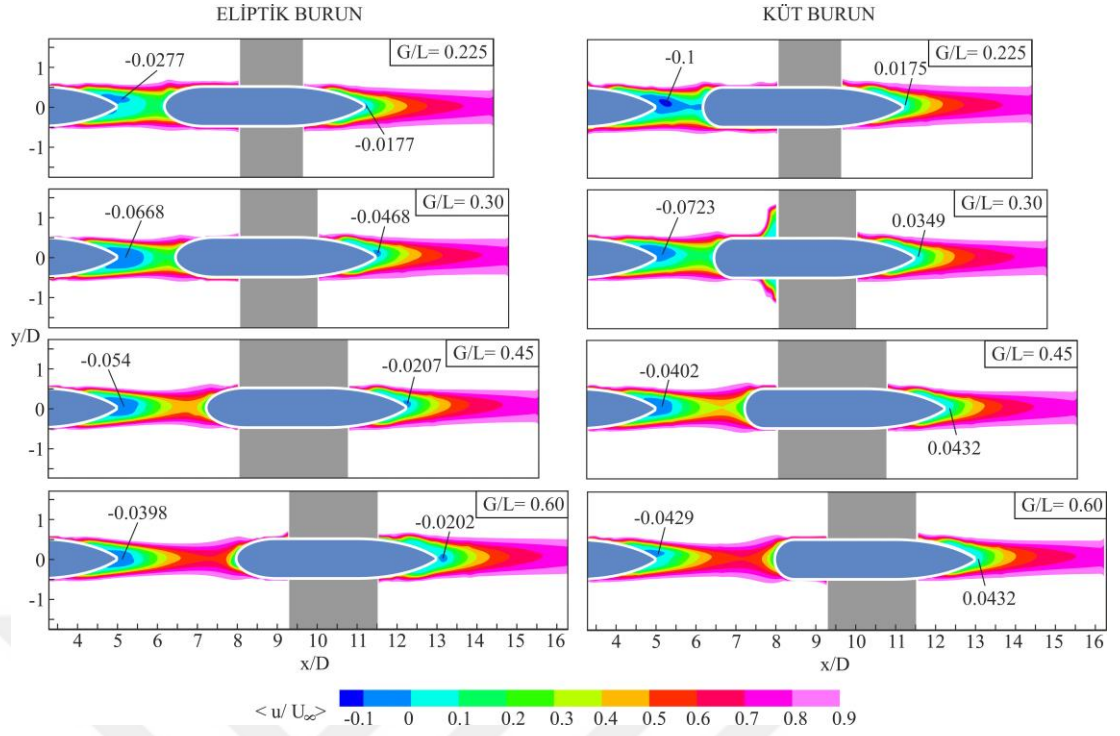
Şekil 4.6.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama reynolds gerilme korelasyonu çalkantı konturları $\langle u'v' / U_\infty^2 \rangle$ karşılaştırılması



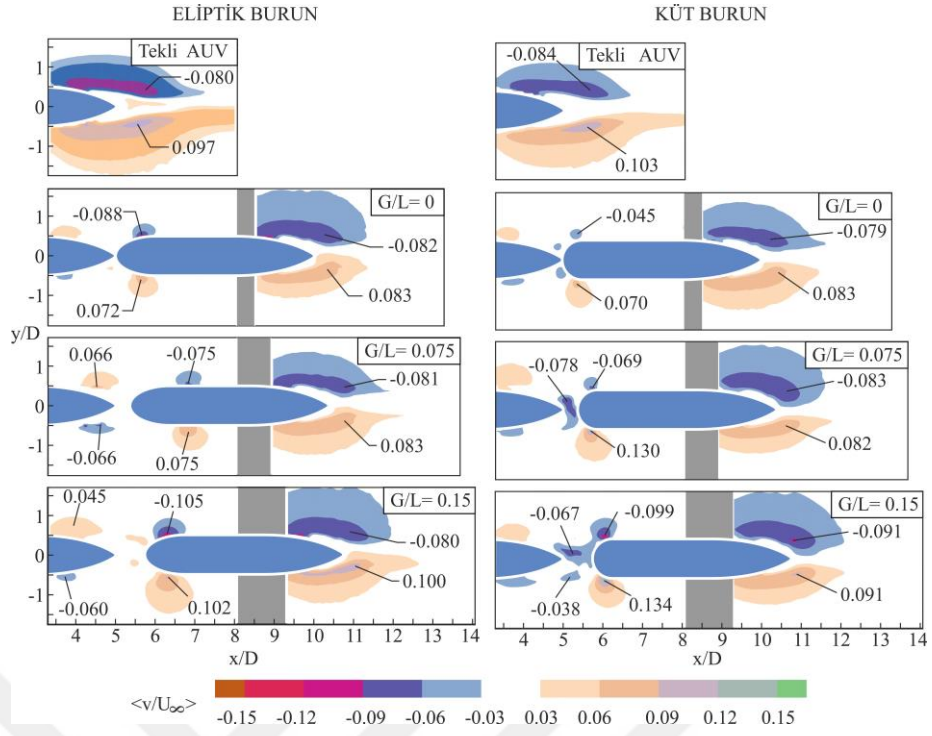
Şekil 4.6.b. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama reynolds gerilme korelasyonu çalkantı konturları $\langle u'v'/U_\infty^2 \rangle$ karşılaştırılması



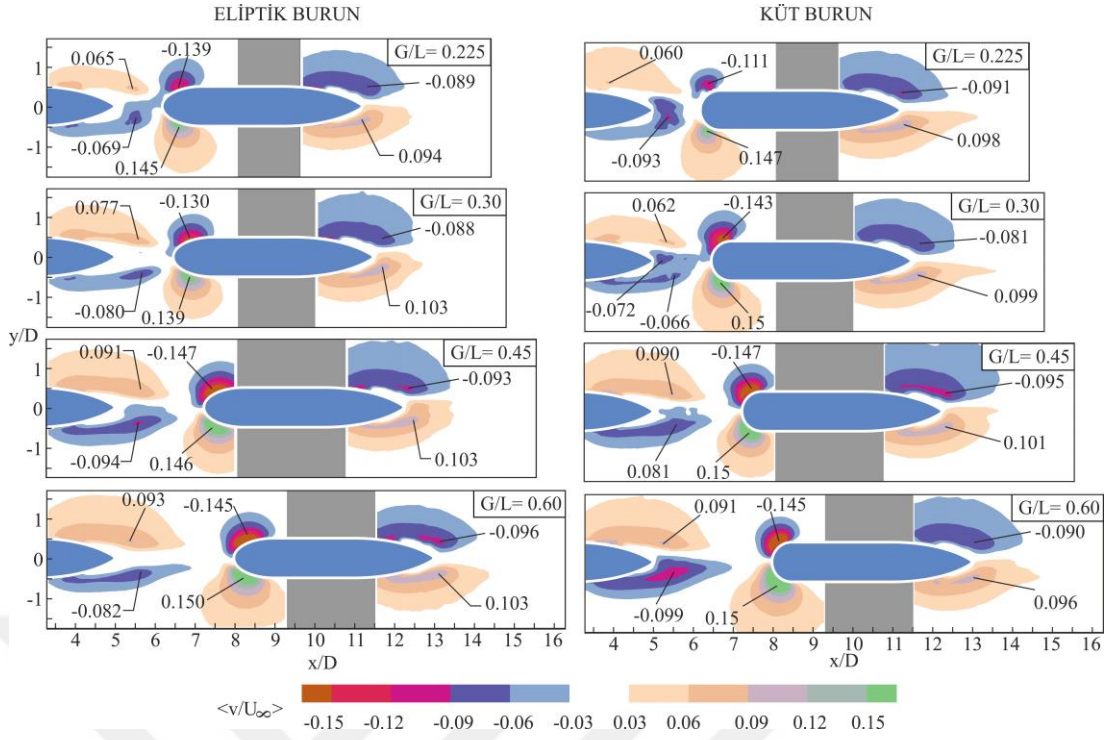
Şekil 4.7.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım yönündeki hız bileşeni konturları $\langle u/U_\infty \rangle$ karşılaştırılması



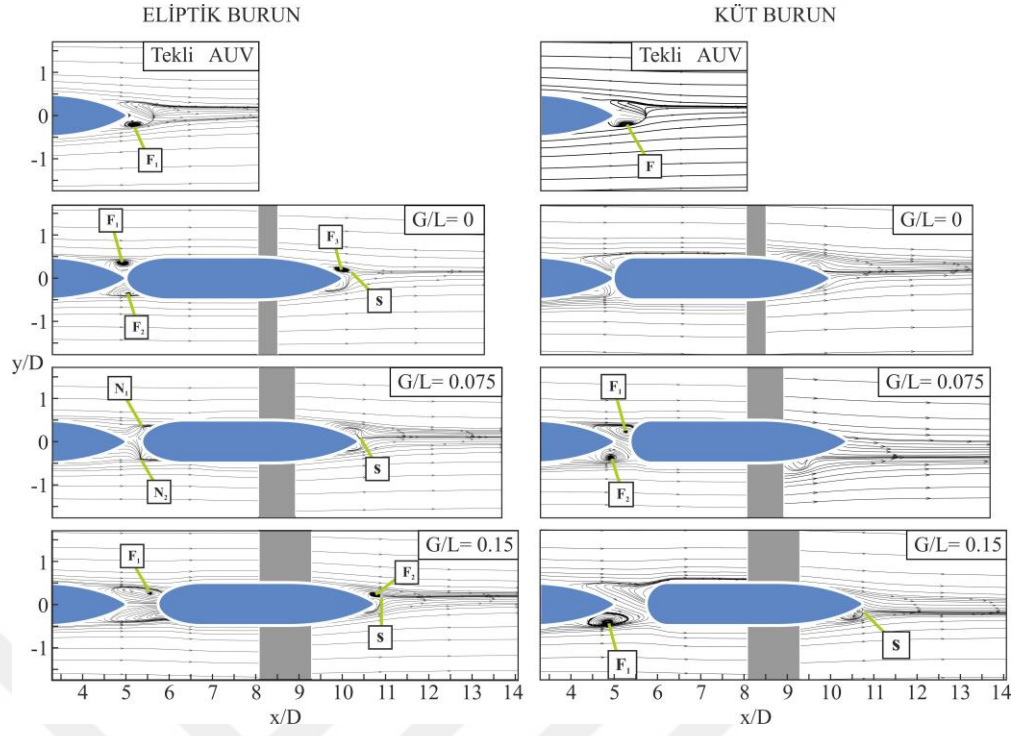
Şekil 4.7.b. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım yönündeki hız bileşeni konturları $\langle u/U_\infty \rangle$ karşılaştırılması



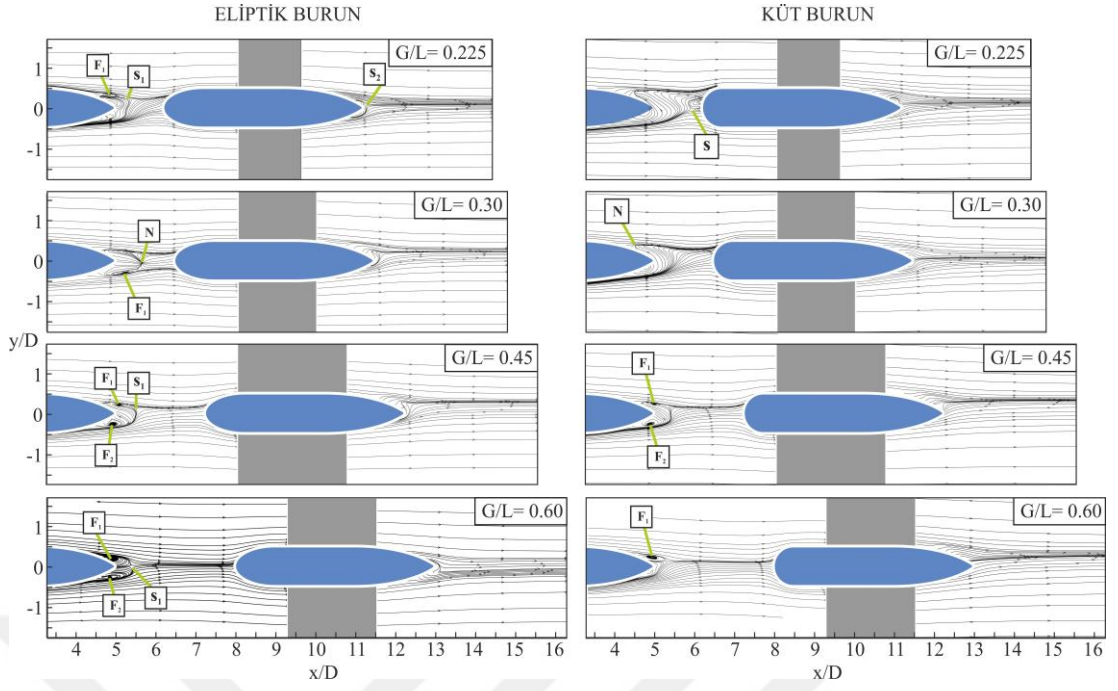
Şekil 4.8.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım yönündeki dik hız bileşeni konturları $\langle v/U_\infty \rangle$ karşılaştırılması



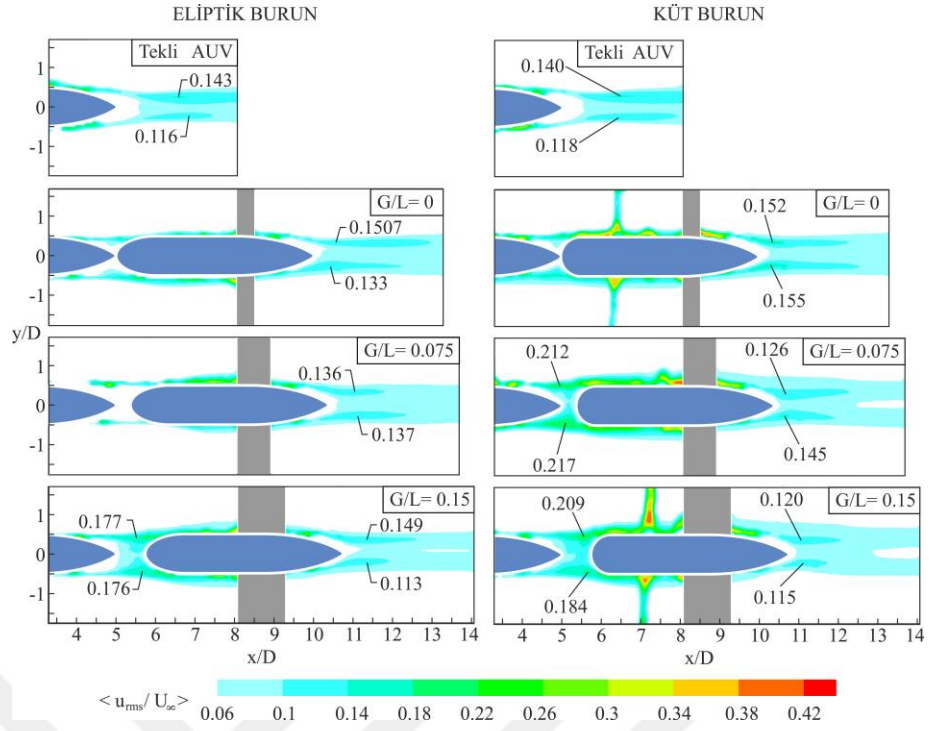
Şekil 4.8.b. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım yönündeki dik hız bileşeni konturları $\langle v/U_\infty \rangle$ karşılaştırılması



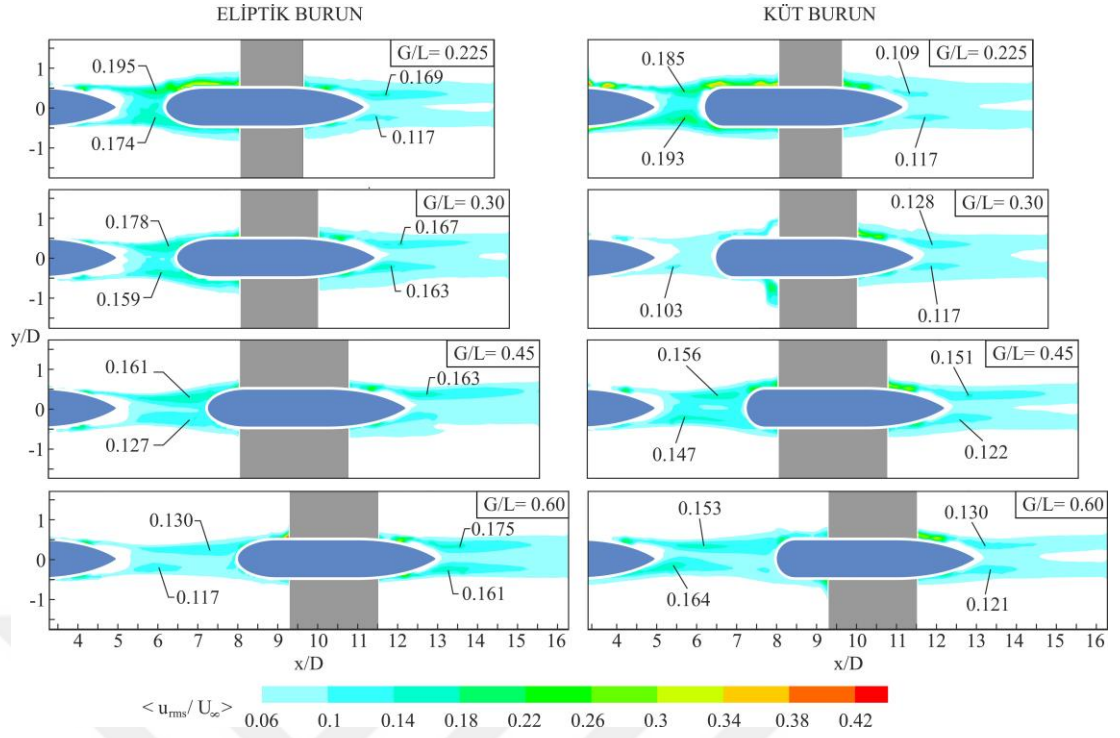
Şekil 4.9.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım çizgilerinin $\langle \Psi \rangle$ karşılaştırılması



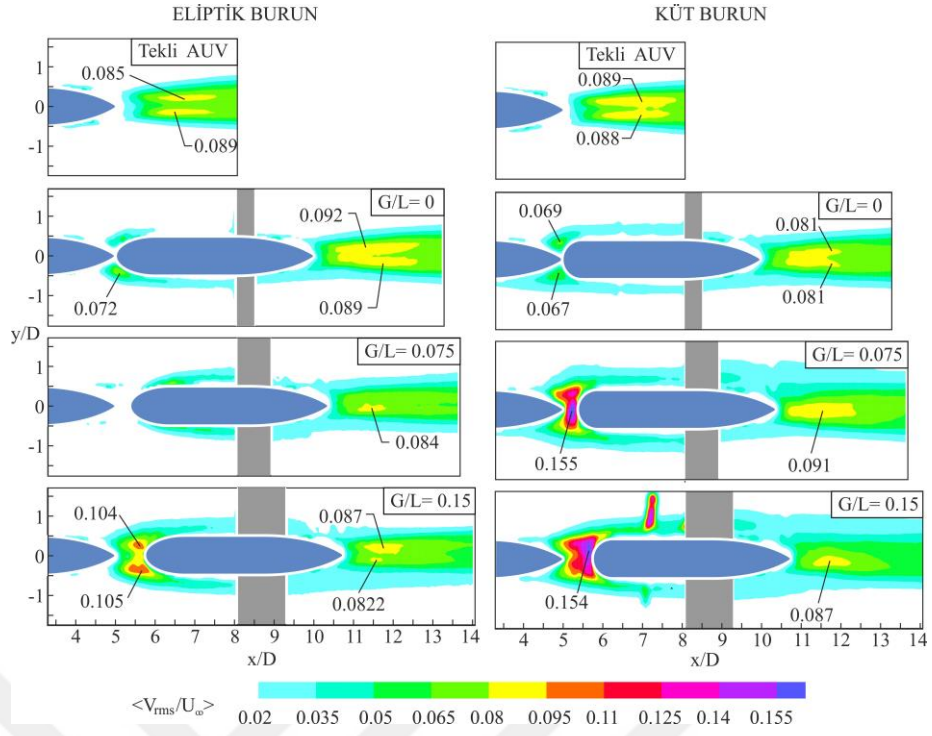
Şekil 4.9.b. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım çizgilerinin $\langle \Psi \rangle$ karşılaştırılması



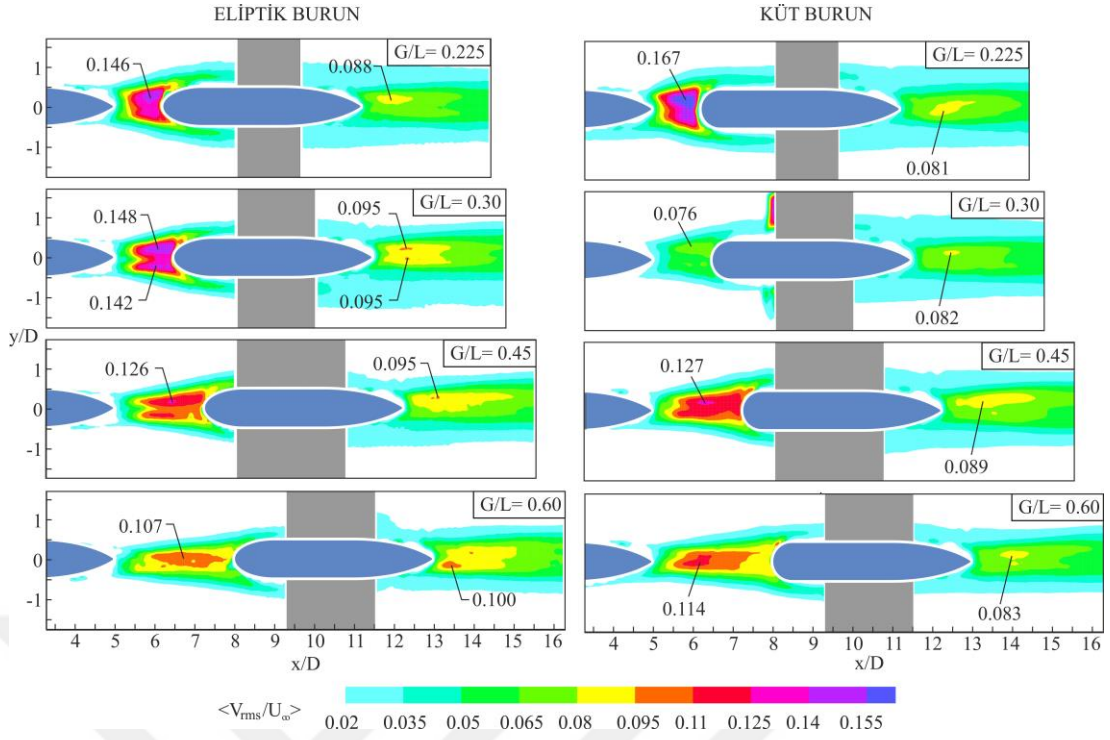
Şekil 4.10.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım yönündeki hız bileşeni türbülans çalkantı konturları $\langle u_{rms} / U_{\infty} \rangle$ karşılaştırılması



Şekil 4.10.b. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım yönündeki hız bileşeni türbülans çalkantı konturları $\langle u_{rms}/U_{\infty} \rangle$ karşılaştırılması

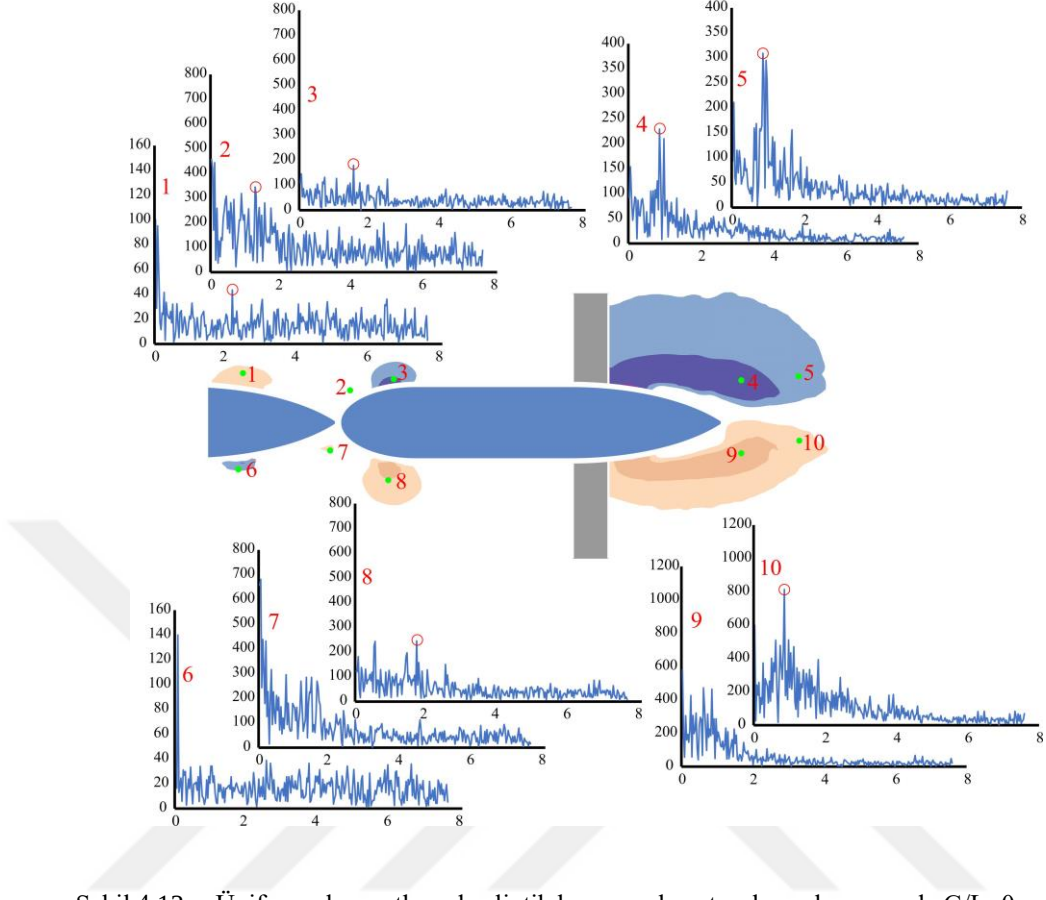


Şekil 4.11.a. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım yönüne dik hız bileşeni türbülans çalkantı konturları $\langle v_{rms}/U_\infty \rangle$ karşılaştırılması



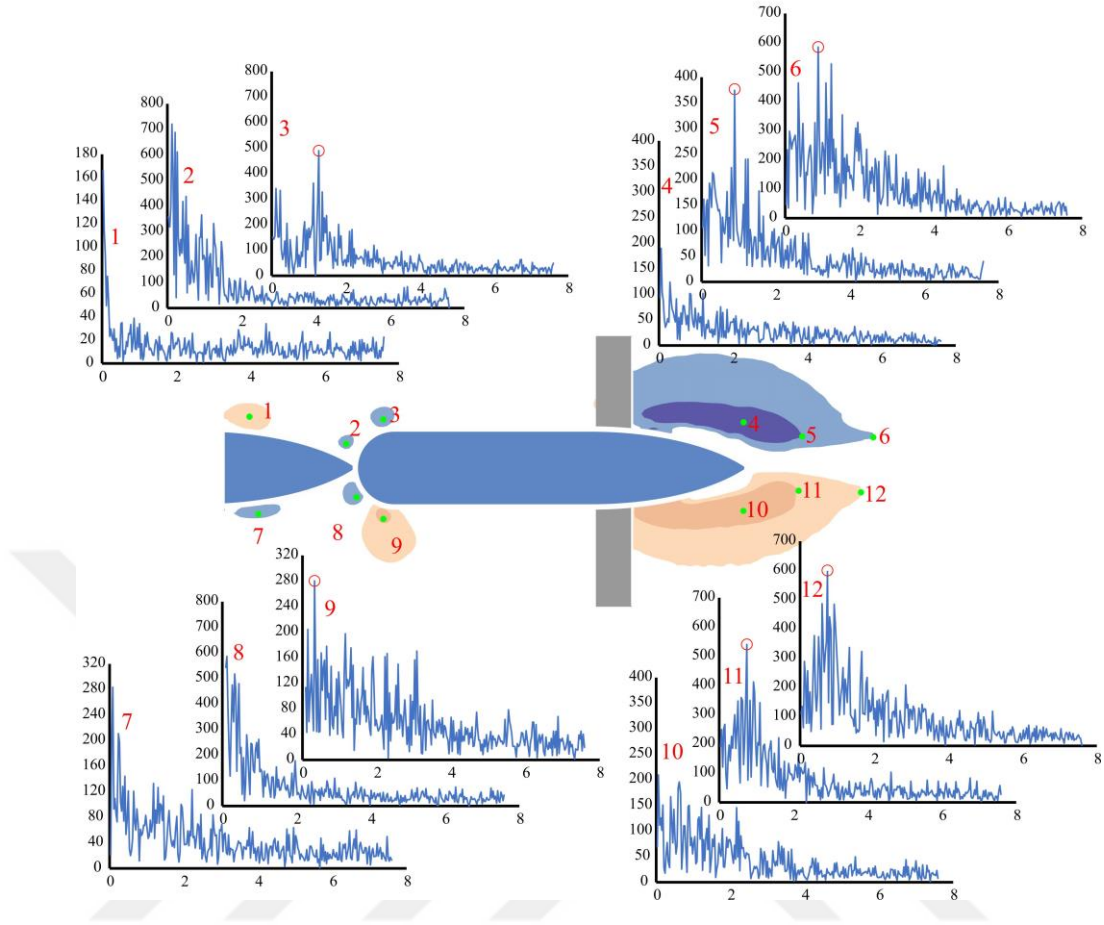
Şekil 4.11.b. Üniform akış şartlarında eliptik ve küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $Re=20000$ ve $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin PIV deneylerinin ortalama akım yönüne dik hız bileşeni türbülans çalkantı konturları $\langle v_{rms}/U_{\infty} \rangle$ karşılaştırılması

ELİPTİK BURUN



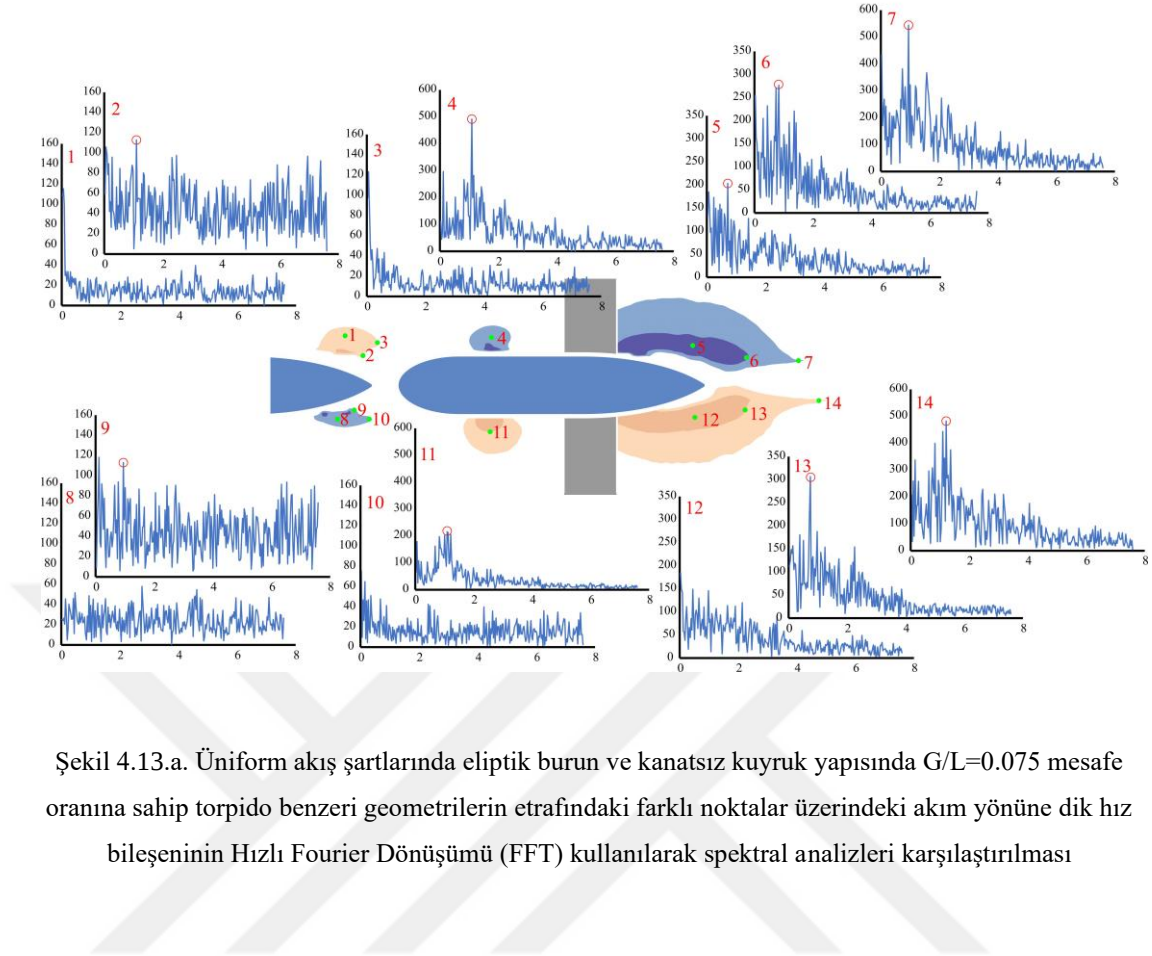
Şekil 4.12.a. Üniform akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması

KÜT BURUN



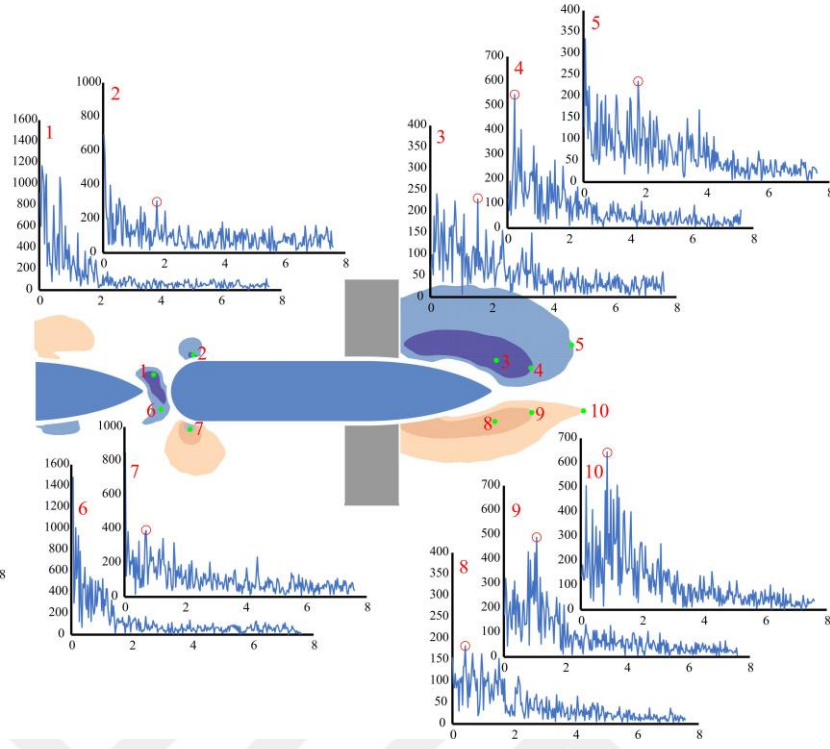
Şekil 4.12.b. Üniform akış şartlarında küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması

ELİPTİK BURUN



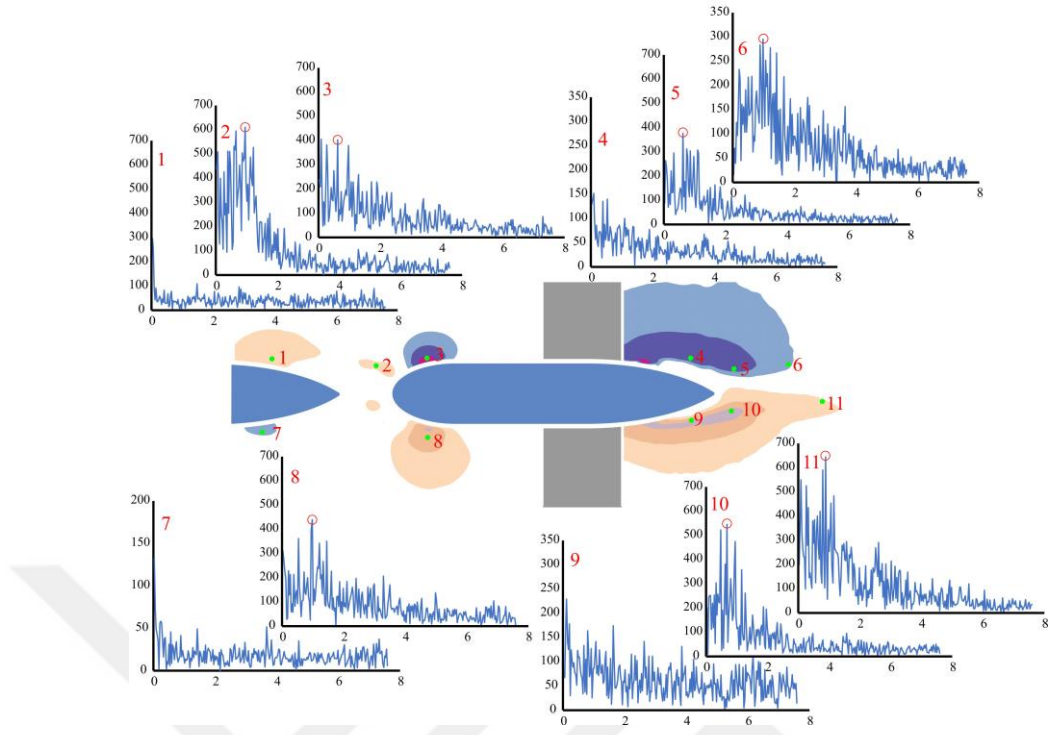
Şekil 4.13.a. Üniform akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.075$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması

KÜT BURUN



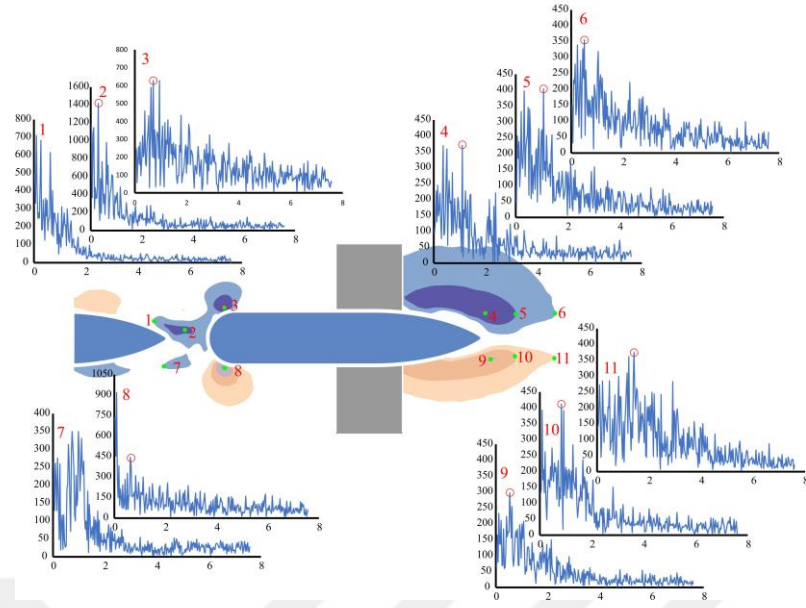
Şekil 4.13.b. Üniform akış şartlarında küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.075$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması

ELİPTİK BURUN



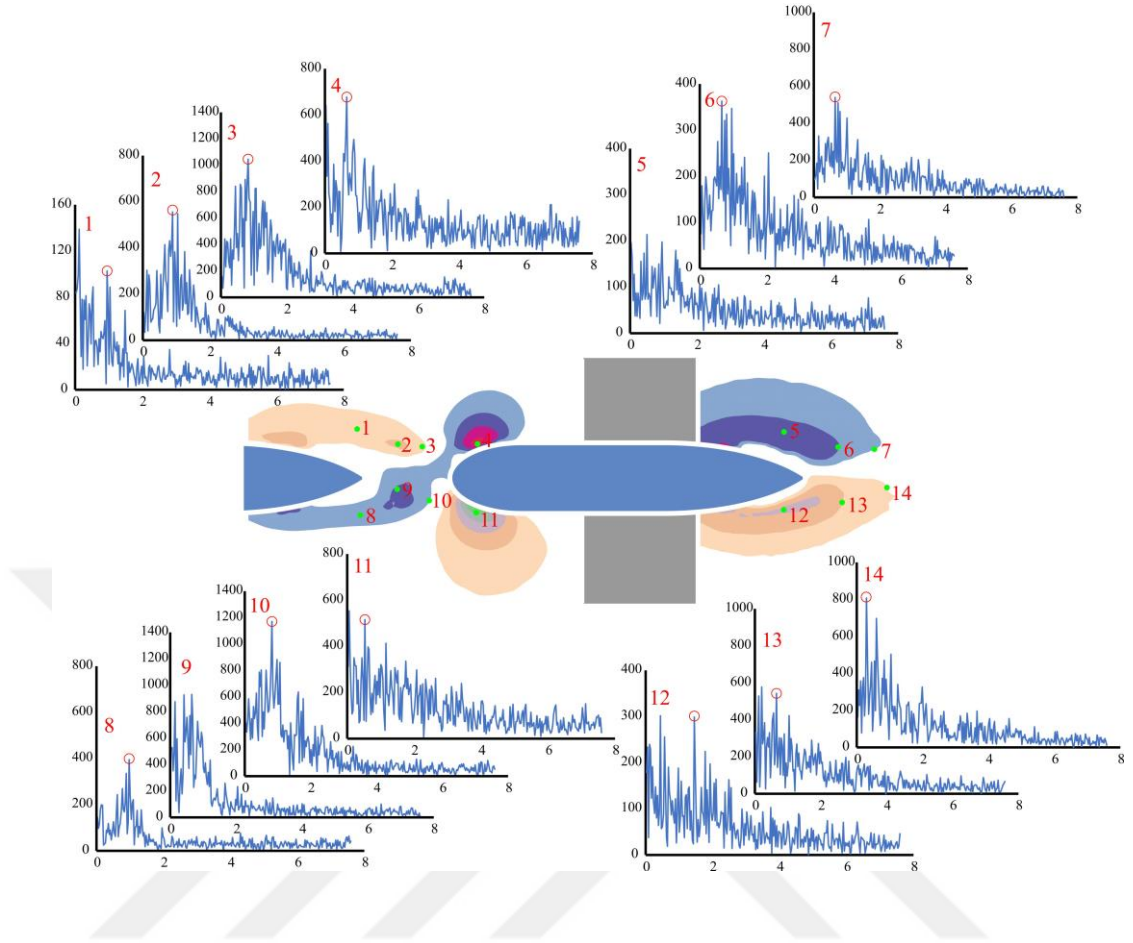
Şekil 4.14.a. Üniform akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L = 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması

KÜT BURUN



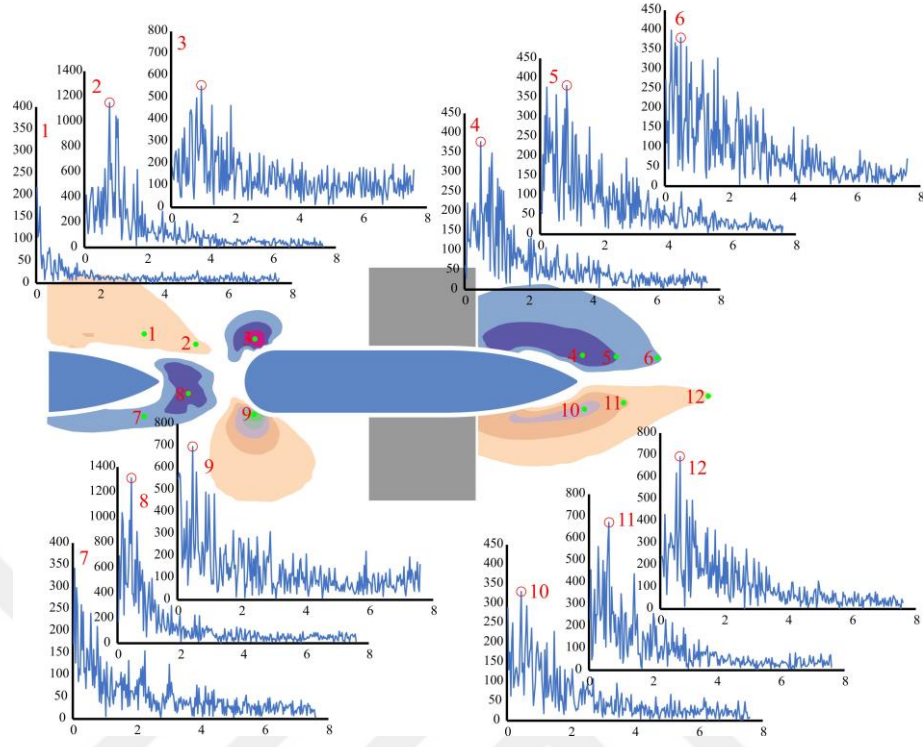
Şekil 4.14.b. Üniform akış şartlarında küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L = 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması

ELİPTİK BURUN



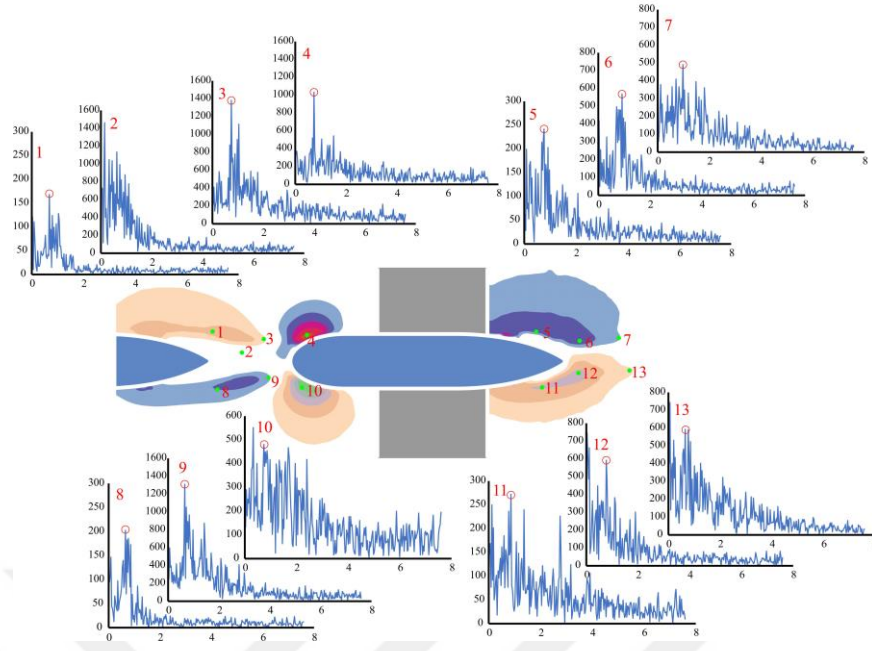
Şekil 4.15.a. Üniform akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.225$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması

KÜT BURUN



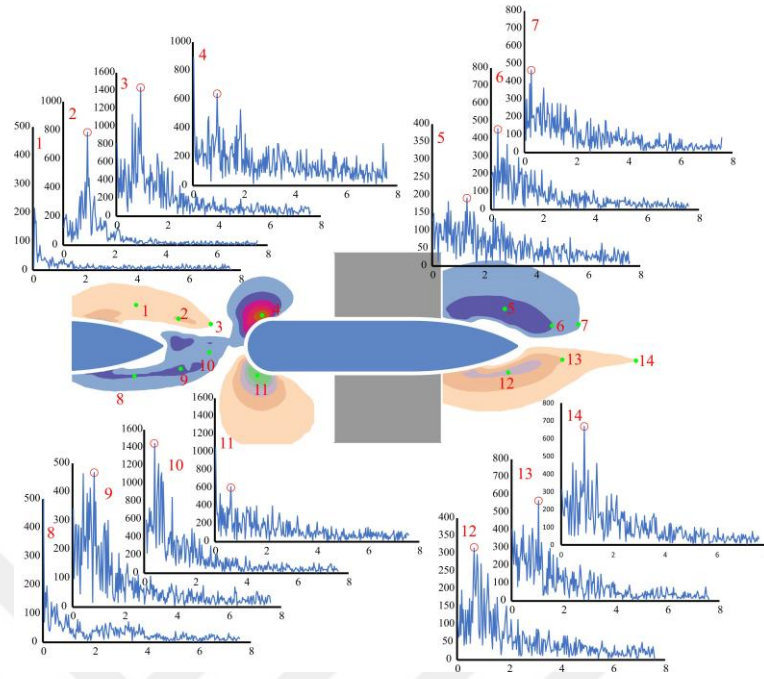
Şekil 4.15.b. Üniform akış şartlarında küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.225$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması

ELİPTİK BURUN



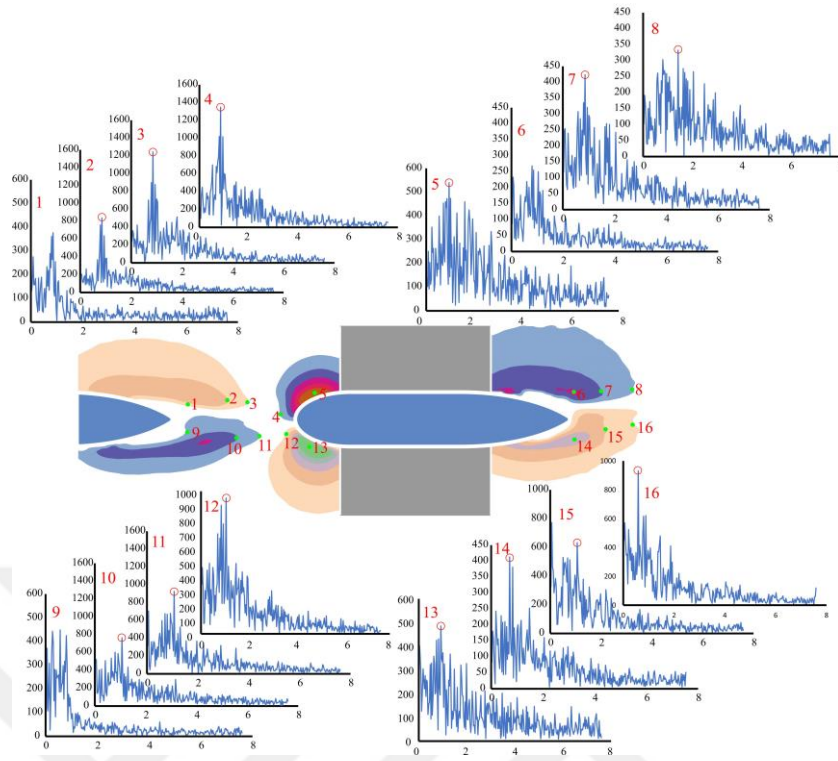
Şekil 4.16.a. Üniform akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.30$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması

KÜT BURUN



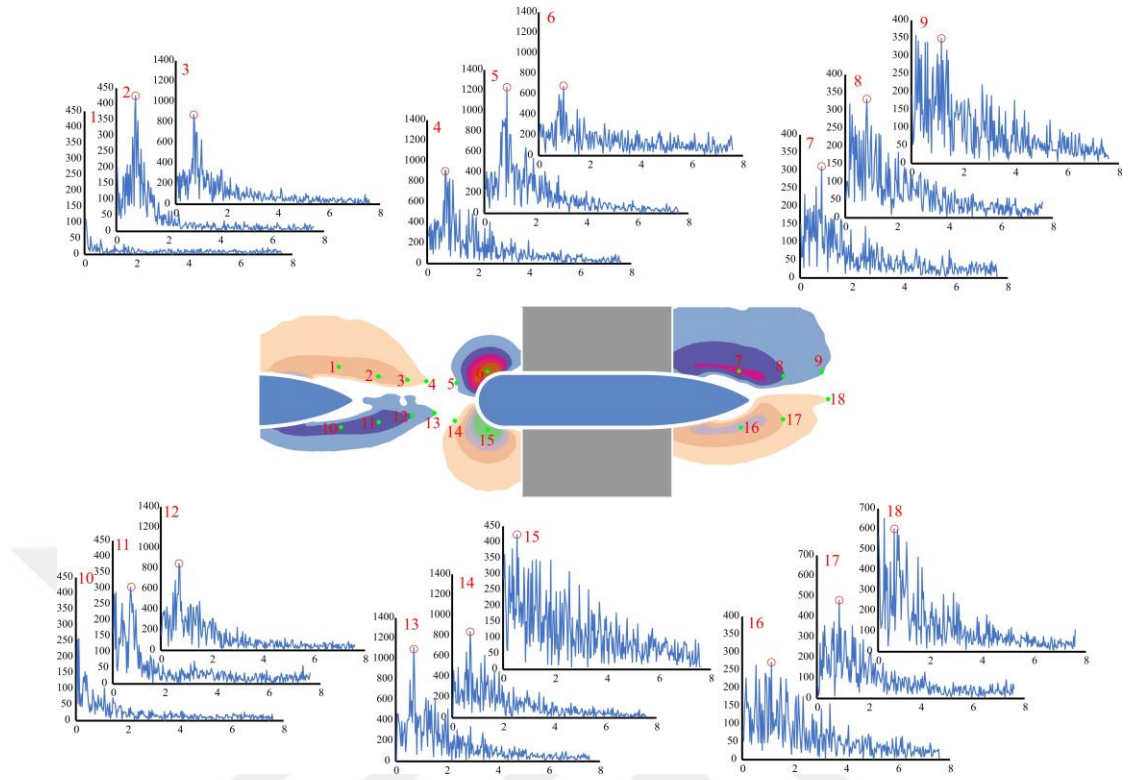
Şekil 4.16.b. Üniform akış şartlarında küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.30$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması

ELİPTİK BURUN

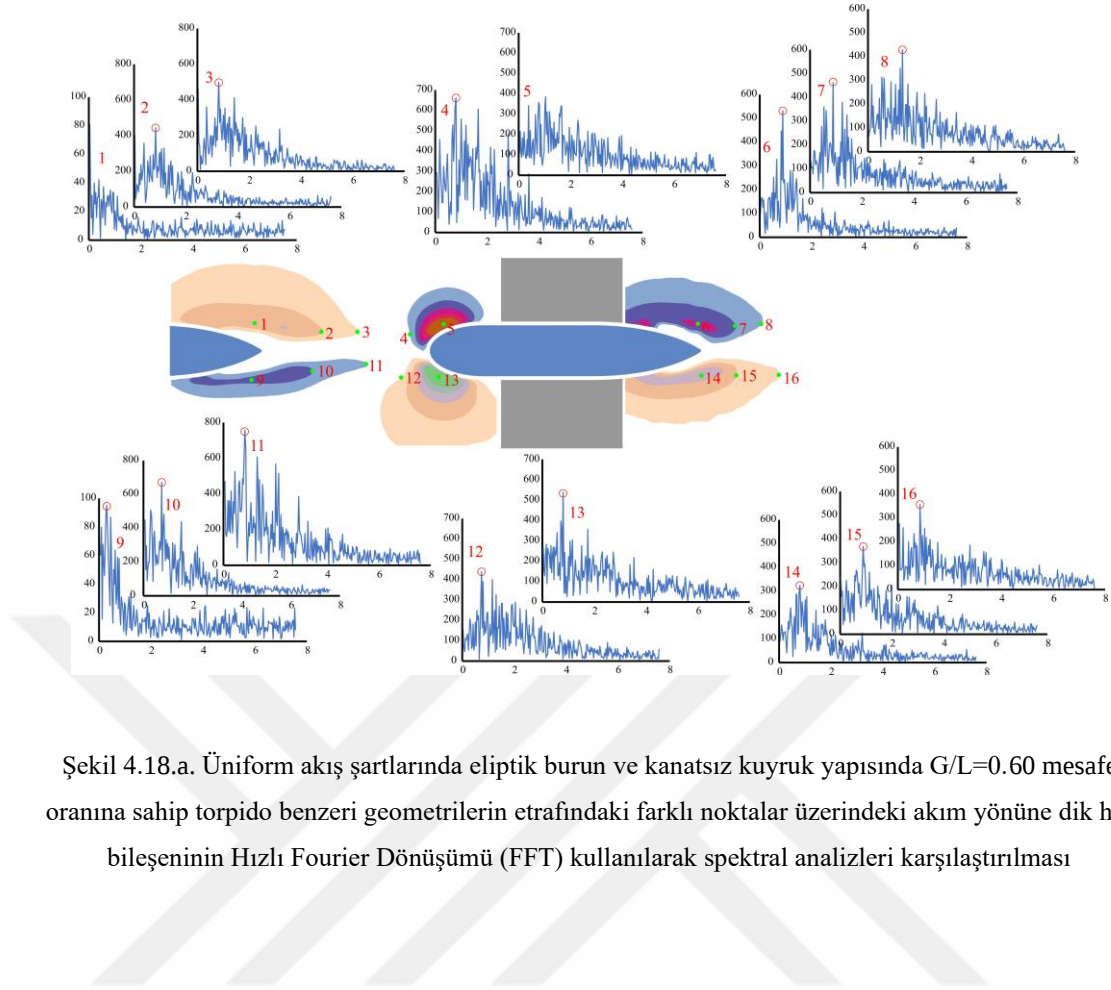


Şekil 4.17.a. Üniform akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.45$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması

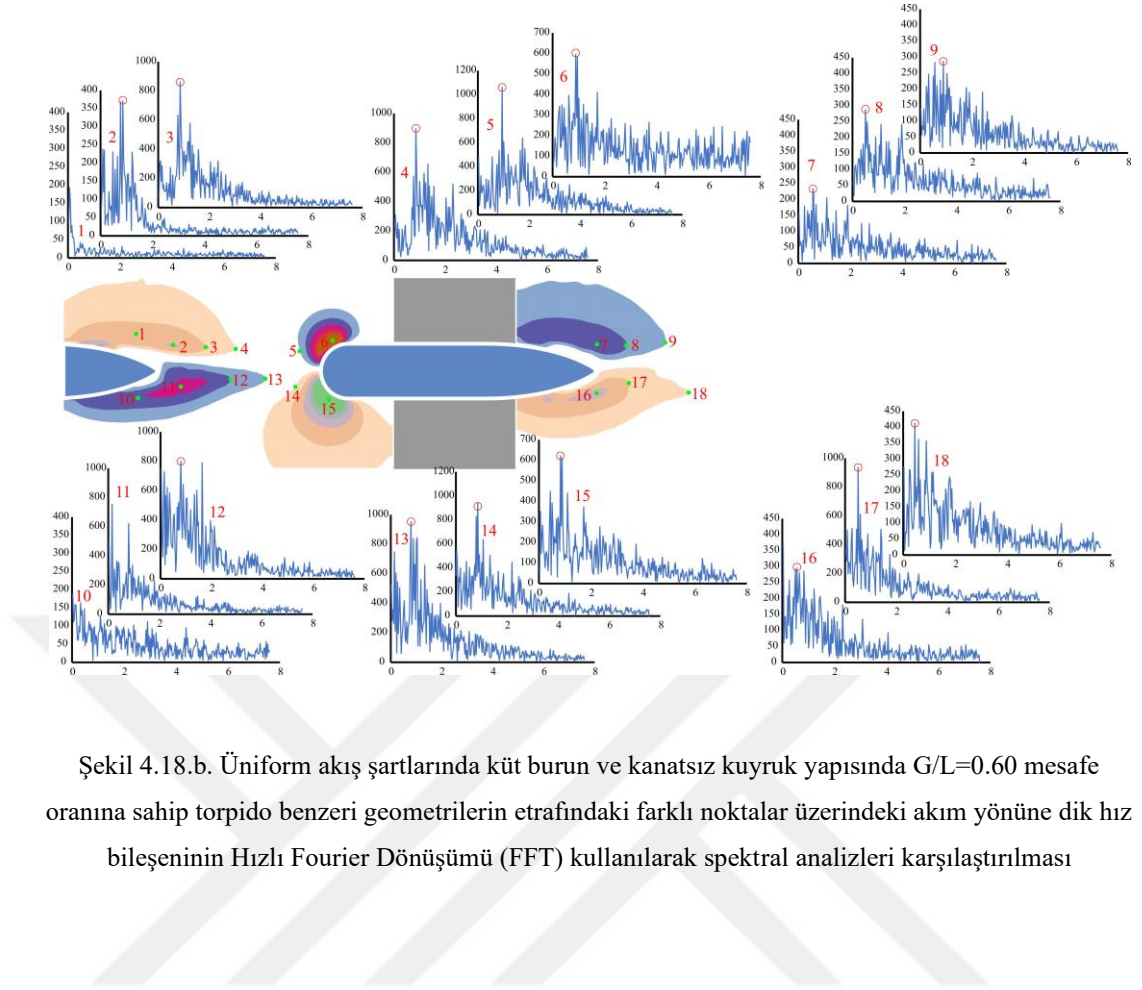
KÜT BURUN



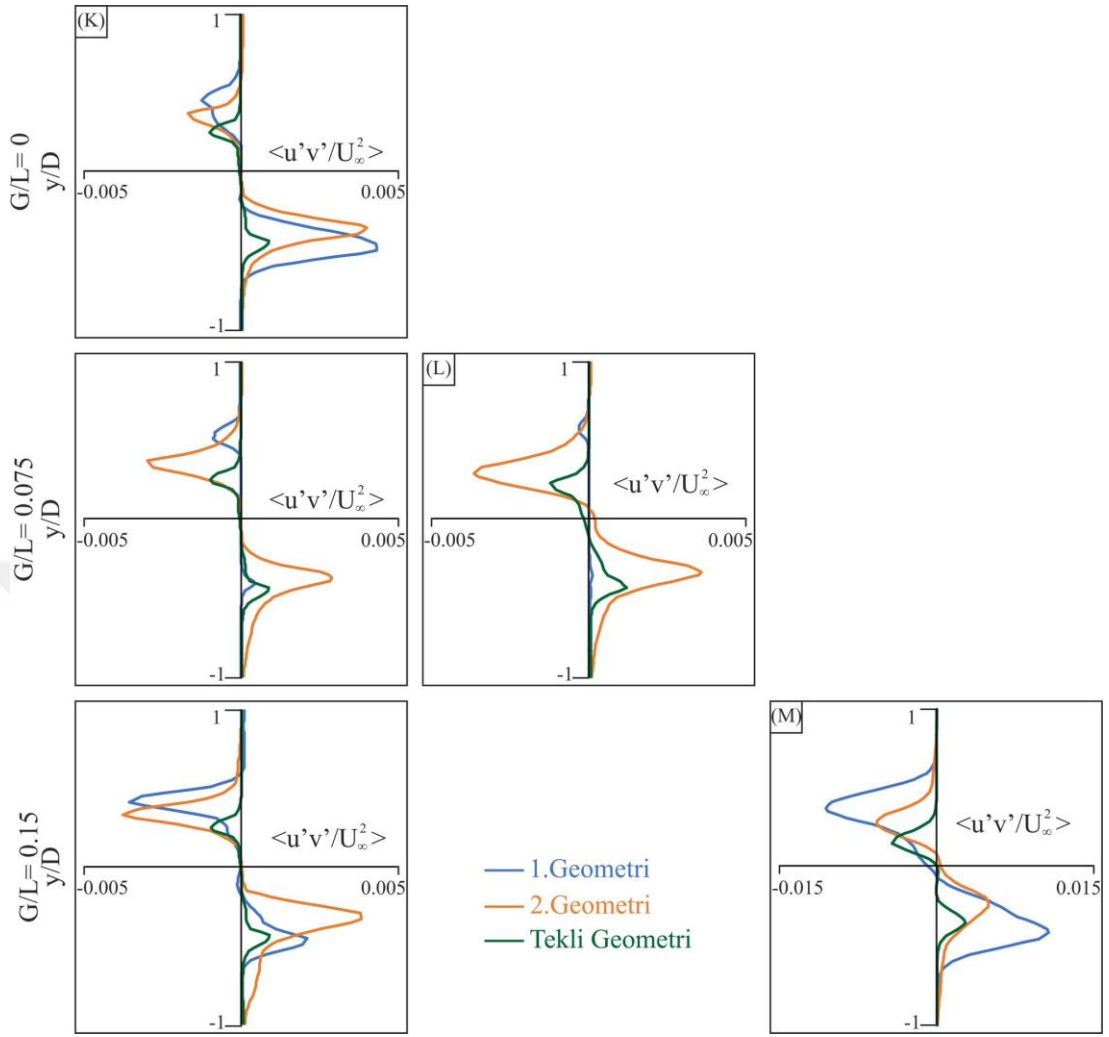
Şekil 4.17.b. Üni-form akış şartlarında küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.45$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması



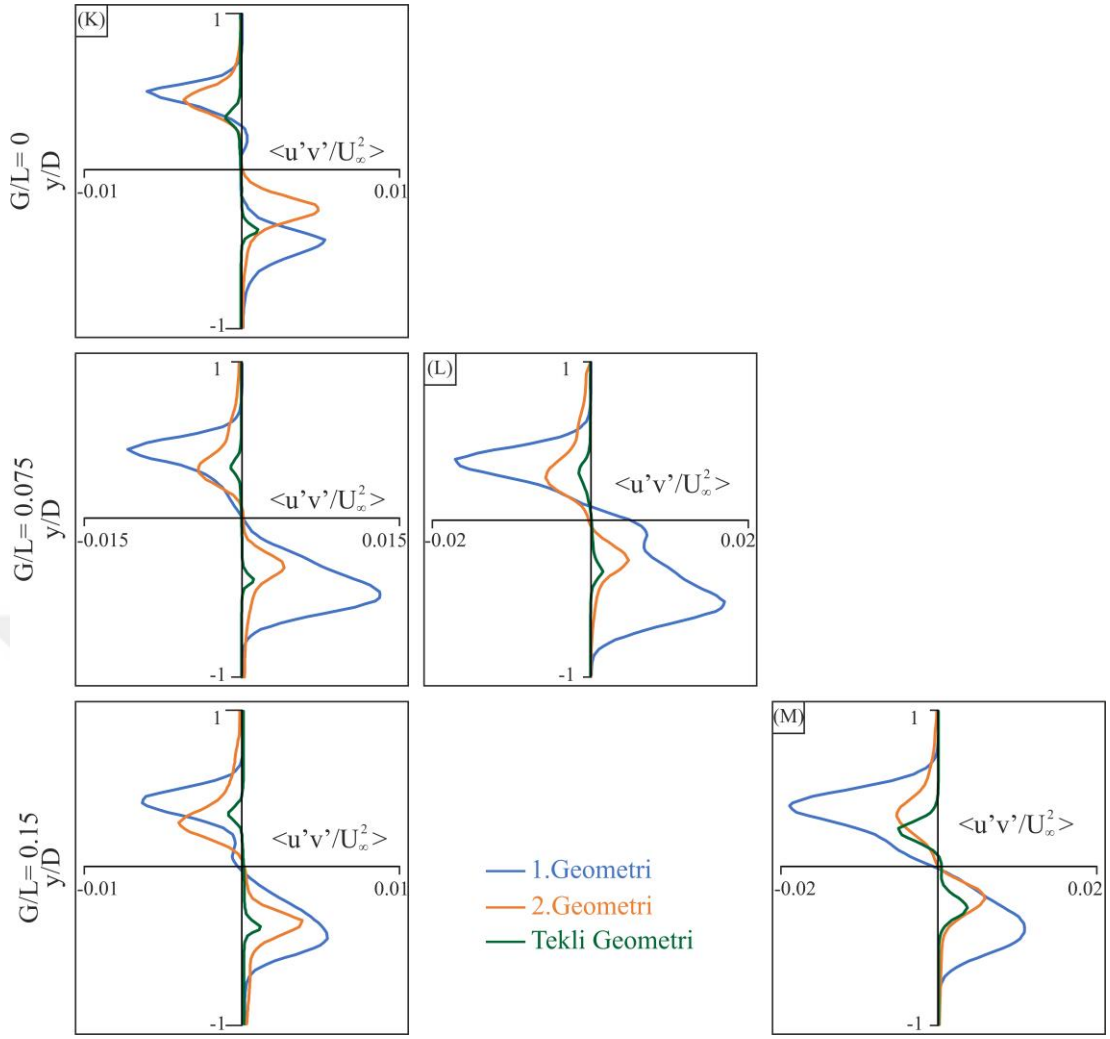
Şekil 4.18.a. Üniform akış şartlarında eliptik burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması



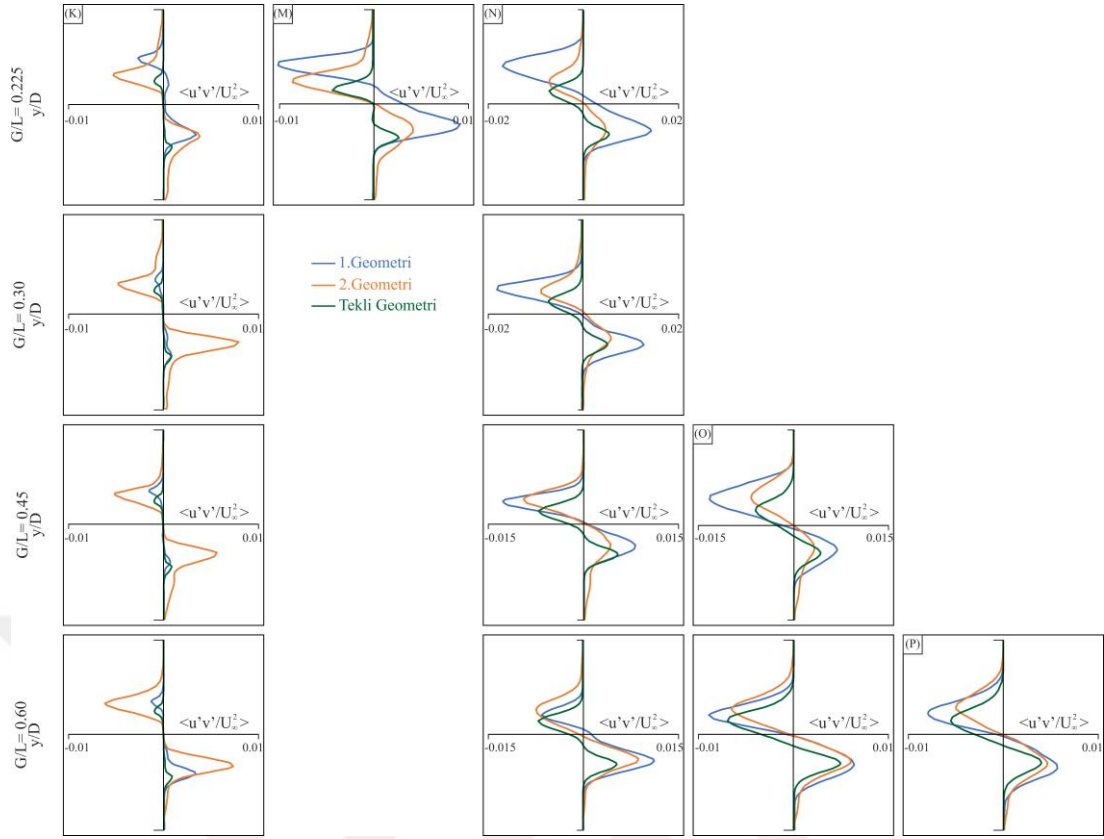
Şekil 4.18.b. Üniform akış şartlarında küt burun ve kanatsız kuyruk yapısında $G/L=0.60$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin etrafındaki farklı noktalar üzerindeki akım yönüne dik hız bileşeninin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak spektral analizleri karşılaştırılması



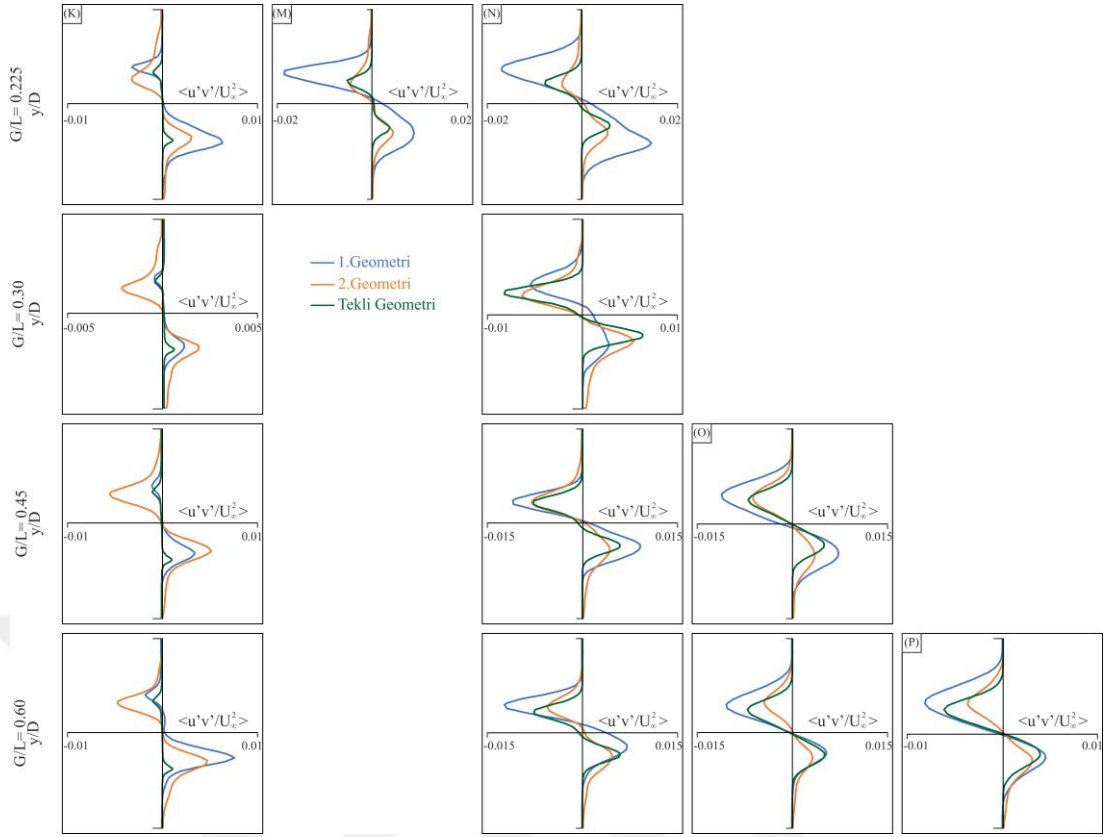
Şekil 4.19.a.1. Eliptik burun yapısına sahip torpido benzeri geometrinin $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranlarında Şekil 3.15’de belirtilen K, L, M istasyonlarında ortalama reynolds gerilme korelasyonu çalkantı konturları $\langle u'v' / U_\infty^2 \rangle$ üzerinde dikey çizgi grafikleri



Şekil 4.19.b.1. Küt burun yapısına sahip torpido benzeri geometrinin $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranlarında Şekil 3.15’de belirtilen K, L, M istasyonlarında ortalama reynolds gerilme korelasyonu çalkantı konturları $\langle u'v' / U_\infty^2 \rangle$ üzerinde dikey çizgi grafikleri



Şekil 4.19.a.2. Eliptik burun yapısına sahip torpido benzeri geometrinin $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranlarında Şekil 3.15’de belirtilen K, M, N, O, P istasyonlarında ortalama reynolds gerilme korelasyonu $\langle u'v'/U_\infty^2 \rangle$ üzerinde dikey çizgi grafikleri



Şekil 4.19.b.2. Küt burun yapısına sahip torpido benzeri geometrinin $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranlarında Şekil 3.15’de belirtilen K, M, N, O, P istasyonlarında ortalama reynolds gerilme korelasyonu çalkantı konturları $\langle u'v'/U_\infty^2 \rangle$ üzerinde dikey çizgi grafikleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasında, deneyler $Re=20000$ Reynolds sayısı değerinde, $0 \leq G/L \leq 0.60$ aralığında yedi farklı mesafe oranları ve tek bir geometri için, farklı burun yapılarındaki (eliptik ve küt) geometrilerde, PIV yöntemiyle alınacak görsellerin deney düzenekleri oluşturulmuş ve deneysel veriler elde edilmiştir. Alınan bu deneyler sonrasında verilerin prosesleri süresince oluşturulan bilimsel dataların görselleştirilmesi ve ayrıntılı incelemesi çeşitli programlar aracılığıyla yapılmıştır. Akışkan-geometri etkileşimleri belirlenmiştir.

Şekil 4.1.a'da ve Şekil 4.1.b'de anlık hız vektör alanlarının (V) karşılaştırılması sonucunda $0 \leq G/L \leq 0.45$ mesafe oranlarında birinci torpido benzeri geometrinin alt ve üst sınırları boyunca hareket eden etkilenmiş akışa ait vektörler birinci torpido benzeri geometrinin firar bölgesinden sonra ikinci torpido benzeri geometrinin burun kısmına çarpmakta ve bir dirençle karşılaşarak yön değiştirmekte ve girdaplı bir akış oluşturmaktadır. $G/L=0.60$ mesafe oranı (daki hangi art izlerindeki ile. Birinci mi, ikinci mi yoksa her ikisi de mi) ve tekli torpido benzeri geometrinin art izi incelendiğinde anlık hız vektörleri benzerlik göstermektedir. Tüm açıklık oranlarında ikinci torpido benzeri geometrilerin art izlerinde vektörlerin Von Karman girdap caddesi modeli gibi yatay "S" şeklini andıran bir yapı olduğu ve ayrıca $G/L=0.45$ açıklık oranından itibaren ise birinci torpido benzeri geometrilerin art izi bölgesinde de Von Karman girdap caddesi açıkça görünür hale gelmektedir.

Zaman ortalamalı hız vektör $\langle V \rangle$ alanları şekil 4.2.1.a ve şekil 4.2.2.a'da incelenmiştir. $0 \leq G/L \leq 0.15$ mesafe oranına sahip torpido benzeri geometrilerin çevresinde oluşan akışın geometriler arasındaki mesafenin kısa olmasına bağlı olarak geometrilerin gövdesi boyunca alt ve üst sınırlardan hareket eden hız vektörlerinin kuyruk kısmında bozukluk gösterdiği sonucuna varılmıştır. Bu durumda GA1 bölgesinde düşük basınç farkına bağlı olarak vektörlerin sönümlendiği görülmektedir. $G/L=0.60$ mesafe oranında ise ortalama vektörler tek bir torpido art izindeki akışa benzer davranışlar göstermektedir.

Şekil 4.3.a'da ve Şekil 4.3.b'de karşılaştırmaları verilen anlık girdap konturları $\omega L/U_\infty$ incelendiğinde, eliptik ve küt burun yapısının tasarımına bağlı olmak üzere aynı mesafede farklı burun yapıları akışkanın küt burun yapısında daha fazla çalkantiya uğradığı ve böylece akışın negatif ve pozitif dağılımlarının daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. $G/L = 0.60$ ve tek torpido art izinde oluşan akış yapısına benzer olduğu ancak girdap kontur uzunluklarının biraz daha kısa ve dağınık olduğu görülmüştür. Bu girdap parçalanmaları yani girdap sönümlenmeleri akış alanındaki enerji seviyelerinin düştüğü ve bu sebeple gürültünün azaldığı sonucuna varılabilir.

Şekil 4.4.a'da ve Şekil 4.4.b'de ortalama girdap konturları $\langle \omega L/U_\infty \rangle$ karşılaştırılması verilmiştir. Geometriler arası tüm mesafelerde girdap konturlarının simetrik veya simetriğe çok yakın değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. G/L oranının artmasıyla girdap konturları arasındaki etkileşimde değişiklik gözlemlenmektedir. GA1'de birinci geometri kuyruk çevresinde oluşan akış konturları ikinci geometrinin burun kısmına çarparak bir blokaj etkisiyle karşılaşmıştır. Bu etki alt ve üst kayma tabakasının enerjisinin düşmesine ve akış parçalanmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Burun yapısından bağımsız olarak G/L mesafe oranı arttıkça negatif ve pozitif girdap konturları arası mesafenin azaldığı ve girdap kontur boylarında kısalma gözlemlenmiştir. Eliptik ve küt burun yapılarındaki tasarım farklılıkları sebebiyle küt burun yapısına sahip geometrinin girdap konturlarının enerjisini eliptik burna kıyasla daha fazla düşürdüğü ve parçaladığı görülmüştür.

Ortalama boyutsuzlaştırılmış türbülans kinetik enerji konturları $\langle T.K.E/U_\infty^2 \rangle$ karşılaştırılması Şekil 4.5.a'da ve Şekil 4.5.b'de verilmiştir. Eliptik ve küt burun yapısına sahip tek torpido benzeri geometrilerin art izi bölgesinde oluşan alt ve üst kayma tabakasında oluşan konturlar incelendiğinde birbirine benzer alanlar içerisinde min ve max değerlerinin oluştuğu kümelenmeler gözlemlenmektedir.

$G/L=0$ konumunda GA2'de ikinci torpido benzeri geometrinin kuyruk kısmında akış alt ve üst kayma tabakalarına ayrılmış olduğu ve TKE konturlarının kuyruktan uzak bir bölgede kümелendiği görülmektedir. Geometriler arasındaki mesafe artırıldığında GA1'de küt ve eliptik burunlu geometriler arasında bir karşılaştırma yapılacak olursa küt burun yapısına sahip geometri akışın hareketliliğini artırdığı ve daha yüksek

seviyede türbülans değerlerine ulaştırdığı görülmektedir ancak bu türbülans değerleri $0.30 \leq G/L \leq 0.60$ aralığında TKE kontur enerji seviyelerinde düşme olduğu max ve min değerlerindeki değişimlerden de açıkça görülmektedir.

Şekil 4.6.a'da ve Şekil 4.6.b'de ortalama reynolds gerilme korelasyonu çalkantı konturları $\langle u'v' / U_\infty^2 \rangle$ karşılaştırılması verilmiştir. Tandem düzende yerleştirilmiş torpidoların açıklık mesafelerinin artırılmasına bağlı birinci geometri art izindeki GA1'de oluşan çalkantının maksimum ve minimum değerlerinin $G/L=0.30$ durumuna kadar genel olarak artma trendinde, ancak $G/L=0.60$ durumuna kadar ise azalma trendinde olduğu gözlemlenmiştir. Eliptik ve Küt burun yapılarına bağlı olarak ikinci geometrilerin art izi bölgelerini incelediğimizde eliptik burun yapısındaki geometrinin TKE kontur değerlerinde çok net olmasa da bir artış trendi göstermiştir ancak bu yorum küt burnun yapısının blokaj etkisine bağlı olarak konturları parçalayıp düzensiz bir yapıya geçirmiştir.

Şekil 4.7.a'da ve Şekil 4.7.b'de ortalama akım yönündeki hız bileşeni konturları $\langle u/U_\infty \rangle$ karşılaştırılması verilmiştir. Tekli torpido art izi bölgesi incelendiğinde akım yönündeki hız konturlarında hızın sıfır olduğu bölgeler olduğu görülmektedir. Kontur seviyelerinin negatif değere sahip olduğu alanlarda akışın zıt yönde hareket bölgesi oluşturduğu sonucuna varılabilmektedir. G/L açıklık oranı artışıyla art izindeki üniform akış hızına yaklaşan hız değerlerine ait kontur alanlarında artma olduğu her iki durumda da görülmektedir. Birinci geometri art izindeki akım yönündeki hız bileşeni konturları da açıklık oranı arttıkça boyutsuz üniform akış hızı olan 1 değerine yaklaşma eğiliminde olduğu kontur alanlarının dağılımından anlaşılmaktadır. Sonuç olarak $G/L=0.60$ durumunda Birinci geometrinin ikinci geometriye olan etkisi oldukça azalmıştır ve her iki geometride neredeyse tekli model gibi davranmaktadır.

Karşılaştırılması şekil 4.8.a'da ve şekil 4.8.b'de verilen ortalama akım yönüne dik hız bileşeni konturları $\langle v/U_\infty \rangle$ her iki burun yapısına sahip tekli torpido benzeri geometrilerin art izinde negatif akım yönüne dik hız bileşeni konturlarının kapladığı alan pozitiflere göre fazla olduğu gözlemlenmiştir. Tandem durumlar incelendiğinde $0 \leq G/L \leq 0.15$ aralığındaki durumlarda torpidolar arası mesafe oldukça yakın olduğu için GA2'de akım yönüne dik hız bileşeni konturları daha net ve anlaşılır olduğu

gözlemlenmiştir. $0.225 \leq G/L \leq 0.60$ mesafe oranlarına bağlı olarak konturların kapladığı alanların ikinci geometriye doğru uzadığı, minimum ve maksimum değerlerinin birbirlerine yaklaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca daha önce anlık vektör alanlarında görülen ve bahsedilen Von Karman girdap caddesi etkisi burada açıkça gözlemlenmektedir.

Şekil 4.9.a'da ve Şekil. 4.9.b'de ortalama akım çizgilerinin $\langle \Psi \rangle$ karşılaştırılması verilmiştir. Genel olarak eliptik burun yapısına sahip torpido benzeri geometrilerin tüm alanları incelendiğinde ikinci geometri art izinde burun yapısına bağlı olarak ve birinci geometri art izinden koparak devam eden ve ikinci geometri yüzeyince devam eden etkilenmiş akışın sürtünme ve diğer kayıpların etkisiyle genel momentumundaki düşüşten kaynaklı odak noktası ve duraklama noktası gibi yapıların sayılarının azaldığı, konum ve büyüklüklerinin değiştiği gözlemlenmiştir. Küt burunlu yapıları incelediğimizde ise ikinci geometri art izinde $G/L=0.15$ durumunda oluşan duraklama noktası hariç herhangi bir yapı oluşumu görülmemiştir. Bu durum küt burun yapısının birinci geometri art izinden gelen akışa daha fazla blokaj etkisiyle akışın enerjisini daha fazla düşürdüğü sonucuna ulaştırmıştır. Ayrıca ikinci geometri art izinde girdap oluşumu gibi yapıların oluşumun azalması akış içindeki gürültünün azaldığı anlamına da gelmektedir. Akış daha stabil bir şekilde serbest akış hızına dönme eğilimi göstermektedir.

Ortalama akım yönündeki hız bileşeni türbülans çalkantı konturları $\langle u_{rms}/U_{\infty} \rangle$ karşılaştırması şekil 4.10.a'da ve şekil 4.10.b'de verilmiştir. Tekli torpido benzeri geometrilerin farklı burun yapılarında oluşturduğu akış karakteristikleri için alt ve üst kayma tabakalarının küt burunda ve eliptik burunda kontur değerlerinde zıtlık oluşturduğu görülmüştür. G/L açıklık oranı artışıyla bazı durumlarda değerler anlık etkiyle yükseldiği gözlemlense de genel trend olarak kontur enerji seviyelerinin düşüşü yönündedir. Eliptik burun yapısına sahip çoklu dizilimli geometrilerin GA2'de konturların görüntüleme alanı boyunca uzamasının G/L oranı artışıyla azaldığı ve art izinin küçülerek geometri kuyruk kısmına yaklaştığı gözlemlenmiştir. Küt burunlu yapıda ise eliptik burun için gözlemlediğimiz etkilerin artarak devam ettiği görülmüştür.

Karşılaştırılması şekil 4.11.a'da ve şekil 4.11.b'de verilen ortalama akım yönüne dik hız bileşeni türbülans çalkantı konturları $\langle v_{rms}/U_{\infty} \rangle$ için tekli torpido benzeri geometrilerin art izindeki min. ve max. kontur değerlerini incelediğimizde oldukça simetrik kümeler oluşturduğu görülmektedir. Eliptik ve Küt burun yapılarının tekli torpido üzerinde kıyaslaması yapıldığında ise küt burna sahip geometrinin min. ve max. değerleri eliptik buruna göre daha yüksek kontur değerlerine sahip olduğu ve bu konturların kuyruk kısmına daha yakın olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 4.12'den ve Şekil 4.18'e kadar tüm şekillerde eliptik ve küt burun yapısına sahip torpido benzeri geometrilerin tandem düzende, GA1 ve GA2'de geometriler çevresinde farklı noktalarda alınan akıma dik yöndeki hız bileşeninin güç spektrumları verilmiştir. İncelenen noktalarda boyutsuz Strouhal sayısı ($St = fL/U_{\infty}$) hesaplanmıştır. Şekil 4.12.a'da ve Şekil 4.12.b'de $G/L=0$ mesafe oranında farklı burunlar arasındaki bağıl fark GA2 için minimum %3.37'dir. Şekil 4.13.a'da ve Şekil 4.13.b'de $G/L=0.075$ mesafe oranına farklı burunlar arasındaki bağıl fark GA2 için minimum %5.07'dir. Küt burun yapısındaki geometrilerin art izinde St değerinin artması akışa dik yöndeki hız bileşenlerinin etkisinin eliptik burunlu yapınınkinden daha fazla olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.13.a'da ve Şekil 4.13.b'de $G/L=0.075$ mesafe oranına farklı burunlar arasındaki bağıl fark GA1 için %10,56'dır. Şekil 4.14.a'da ve Şekil 4.14.b'de $G/L=0.15$ mesafe oranına farklı burunlar arasındaki bağıl fark GA1 için %16,87'dir. $G/L=0.075$ 'de bu durum küt burun yapısının akışa uyguladığı blokaj etkisinin daha fazla olmasıyla üniform akışın yön değiştirmesine sebep olarak akım yönüne dik yöndeki hız bileşenlerinin yoğunluğunu arttırdığı gözlemlenmişti ancak $G/L=0.15$ durumunda eliptik burunda konturlar burun kısmına kaymıştır. Küt burunlu modelde oluşan konturların ise benzer koordinatlarda olduğu görülmektedir. $G/L=0.15$ durumunda FFT sonuçları karşılaştırmasında açıklık oranının artmasıyla eliptik burna ait St değerinin küt burundakine göre daha büyük olduğu yani akım yönüne dik hız bileşenlerinin enerji seviyelerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu açıklık oranında birinci geometri art izinden gelen akım yönüne dik hız bileşeni konturlarının ikinci geometri burnuyla karşılaştığında küt burun yapılı geometrinin konturları daha küçük parçalara ayırdığı sonucuna varılabilir. GA2'de Küt burun yapısındaki

geometrilerin art izinde St değerinin artması akışa dik yöndeki hız bileşenlerinin enerji seviyelerinin eliptik burunlu yapınınkinden daha fazla olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.15.a'da ve Şekil 4.15.b'de $G/L=0.225$ mesafe oranında farklı burunlar arasındaki bağıl fark GA1 için minimum %16.9'dur ve GA2 için minimum %8.59'dur. GA1 için $G/L=0.225$ durumunda FFT sonuçları karşılaştırmasında açıklık oranının artmasıyla küt buruna ait St değerinin eliptik burundakine göre daha büyük olduğu yani akım yönüne dik hız bileşenlerinin enerji seviyelerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Küt burun yapılı geometrilerin art izindeki (GA2) akım yönüne dik hız bileşeni konturlarının enerji seviyelerinin daha yüksek olduğunu St değerlerine bakarak söyleyebiliyoruz ancak FFT yapmak için belirlediğimiz noktaların konumlarını kıyaslayacak olursak küt burunlu yapıdaki geometrilerin art izindeki belirlemiş olduğumuz noktaların eliptik burnunkilere göre geometriye daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum küt burun yapılı geometrilerin uzak art izi bölgesinde enerji seviyelerinin daha düşeceğini göstermektedir. Sonuç olarak art izi bölgesi kısalarak akış içindeki gürültü seviyesi düşecektir.

Şekil 4.16.a'da ve Şekil 4.16.b'de $G/L=0.30$ mesafe oranında farklı burunlar arasındaki bağıl fark GA1 için minimum %13.37'dir ve GA2 için minimum %10.05'tir. G/L açıklık oranı arttıkça hesaplanan St sonuçlarına göre küt burunlu geometrinin GA2'deki art izindeki akım yönüne dik yöndeki hız bileşenlerinin enerji seviyelerinde düşme gözlemlenmiştir.

Şekil 4.17.a'da ve Şekil 4.17.b'de $G/L=0.45$ mesafe oranında farklı burunlar arasındaki bağıl fark GA1 için minimum %18.47'dir ve GA2 için minimum %8.88'dir. Küt burun yapısındaki geometrilerin art izinde GA2'de St değerinin artması akışa dik yöndeki hız bileşenlerinin etkisinin eliptik burunlu yapınınkinden daha fazla olduğunu göstermektedir. Mesafe arttıkça St değeri küt burnun art izinde düşme trendine devam etmektedir. Bu da akış içindeki gürültünün azalması anlamına gelmektedir. Küt burunlu yapı bu açıdan eliptik burunluya göre daha avantajlıdır.

Şekil 4.18.a'da ve Şekil 4.18.b'de $G/L=0.60$ mesafe oranında farklı burunlar arasındaki bağıl fark GA1 için minimum %7.01'dir ve GA2 için minimum

%35.63'dür. Küt burun yapısındaki geometrilerin art izinde St değerinin artması akışa dik yöndeki hız bileşenlerinin etkisinin eliptik burunlu yapınınkinden daha fazla olduğunu göstermektedir.

4.19.a.1'de, Şekil 4.19.b.1'de, Şekil 4.19.a.2'de ve Şekil 4.19.b.2'de Reynolds gerilim korelasyonları $\langle u'v'/U_\infty^2 \rangle$ üzerinden alınan çizgisel verilere ait grafikler gösterilmektedir. Görüldüğü üzere, torpido benzeri geometrilerin art izi bölgelerinde oluşan küçük ve büyük ölçekli kümelenmeler nedeniyle reynolds gerilim korelasyonları $\langle u'v'/U_\infty^2 \rangle$ verileri incelenmiştir.

Şekil 4.19.a.1'de, $G/L = 0$ oranında arka arkaya konumlandırılmış iki eliptik buruna sahip geometrinin birinci geometrinin kuyruğu ve ikinci geometrinin burununun temasının etkisiyle akışın laminarlığı bozulmuştur. $G/L = 0$ 'da görüldüğü üzere birinci ve ikinci geometriye ait (mavi ve turuncu) çizgisel veriler asimettir. $G/L = 0.075$ için arka arkaya konumlandırılmış iki eliptik buruna sahip geometrilerin K ve L istasyonlarındaki çizgisel verileri incelenmiştir. K istasyonundaki ölçülen verilere bakıldığında mavi ile gösterilmiş çizgi grafiklerinde ikinci geometrinin konumu ve burun yapısından etkilenmiş ve asimettik bir grafik gözlemlenmiştir. İkinci geometrinin iz bölgesinde çizilen K istasyonunda yani turuncu renkle ifade edilmiş grafik incelendiğinde akışın çalkantı şiddeti yüksek ve simettik davranışlarda bulunduğu gözlemlenmiştir. L istasyonunu incelediğimizde birinci geometrinin iz bölgesinde L istasyonundaki akış çalkantısı sönümlenmiş ve çalkantı şiddeti sıfıra yaklaşmıştır(mavi). İkinci geometrinin art izi bölgesinde L istasyonu konumuna bakıldığında (turuncu) akışın şiddetli ancak asimettik olduğu görülmektedir. $G/L = 0.15$ için K istasyonunda birinci ve ikinci geometrinin gövdeleri boyunca ayrılmış alt ve üst kayma tabakaları şiddetlerini incelediğimizde birinci geometrinin çizgi grafiği asimettiktir ve çalkantı şiddetlerinin pozitifteki değeri negatifteline kıyasla yarı yarıyadır. İkinci geometrinin çizgi grafiği incelendiğinde pozitif ve negatif yöndeki çalkantı şiddetleri birbirlerine yakındır ancak simettik değildir. M istasyonu için birinci geometrinin iz bölgesinde akışın çalkantısının arttığı görülmektedir. İkinci geometrinin gövdesi boyunca ayrılmış alt ve üst kayma tabakalarının ikinci geometrinin art izi bölgesinde birbirlerine yaklaştıkları ve çalkantı şiddetlerinin yaklaşık eşit olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 4.19.b.1 ‘de küt burun yapısına sahip iki geometrinin farklı mesafe oranlarında K, L ve M istasyonlarında dikey ekseninde alınan noktasal verileri incelenmiştir. $G/L=0$ mesafe oranında K istasyonunda iki geometr, arasında akışın şiddeti oldukça yüksektir ve çizgisel grafikleri simetriktir. İkinci geometrinin art izi bölgesinde ise akışın çalkantısı düşmüştür ancak grafik asimetriktir. $G/L= 0.075$ için K istasyonunda birinci geometrinin çalkantı şiddeti çok yüksektir ancak simetrik değildir. L istasyonunda ise birinci geometrinin iz bölgesinde oluşan şiddetli akışın etkisinin daha da yüksek olduğu görülmektedir. İkinci geometrinin akış şiddeti K istasyonuna kıyasla yükselmiştir. $G/L= 0.15$ için K istasyonunda birinci geometrinin çalkantı şiddeti M istasyonuna kıyasla daha düşüktür ancak hem K hem de M istasyonunda çizgisel grafikleri simetrik değildir.

Şekil 4.19.a.2‘de eliptik burun yapısına sahip tandem düzende çeşitli mesafe oranlarında konumlandırılmış iki torpido benzeri geometrinin firar bölgelerinde K, M, N, O ve P istasyonlarında dikey ekseninde alınan noktasal çalkantı verileri incelenmiştir. $G/L= 0.225$ mesafe oranında birinci geometrinin firar bölgesinde K, M ve N istasyonları incelendiğinde istasyonların mesafeleri geometri kuyruğundan uzaklaştıkça çalkantı şiddetinin arttığı görülmektedir. Aynı durum hem tekli geometrinin hemde ikinci geometrinin art izi bölgesinde de görülmektedir. $G/L=0.30$ tekli ve birinci geometrinin K istasyonunda oluşan akışın şiddet yaklaşık olarak eşit olduğu görülmektedir ancak çalkantı bölgeleri aynı değildir. $G/L= 0.45$ için birinci geometrinin firar bölgesinde oluşan çalkantılı akışın şiddeti K istasyonunda tekli geometriyle benzerlik gösterse de N ve O istasyonlarında çalkantı şiddetleri yükselmiştir. İkinci geometrinin art izinde oluşan çalkantılı akış N istasyonunda K ve O istasyonlarında olduğundan daha yüksektir. $G/L= 0.60$ için birinci geometrinin firar bölgesinde K, N, O ve P istasyonlarını incelediğimizde K istasyonunda çalkantılı akışdan çok az etkilendiği ve asimetrik olduğu görülmektedir. N istasyonunda çalkantı şiddetinin arttığı ancak O ve P istasyonlarında şiddetin düştüğü ve simetriğe yaklaştığı görülmektedir. Tekli ve ikincigeometrinin art izi bölgesinde oluşan akışa bağlı olarak K, N, O ve P istasyonlarında da benzer yorum yapılabilir.

Şekil 4.19.b.2’ de küt burun yapısına sahip tandem düzende çeşitli mesafe oranlarında konumlandırılmış iki torpido benzeri geometrinin firar bölgelerinde K, M, N, O ve

Pistasyonların da dikey ekseninde alınan noktasal çalkantı verileri incelenmiştir. $G/L=0.225$ mesafe oranında birinci geometrinin firar bölgesinde oluşan kayma tabakalarının oluşturduğu çalkantılı akış K, M ve N istasyonları incelendiğinde istasyonların mesafeleri geometri kuyruğundan uzaklaştıkça çalkantı şiddetinin arttığı görülmektedir. $G/L=0.30$ için birinci geometrinin firar bölgesinde oluşan kayma tabakalarının oluşturduğu çalkantılı akış K ve N istasyonları incelendiğinde istasyonların mesafeleri geometri kuyruğundan uzaklaştıkça alt ve üst kayma tabakalarının çalkantı şiddetinin arttığı ancak asimetric bir grafik oluşturduğu görülmektedir. Çizgisel grafikleri verilen tekli ve ikinci geometrinin firar bölgelerinde oluşan alt ve üst kayma tabakalarının K ve N istasyonları incelendiğinde incelenen bölge kuyruktan uzaklaştıkça çalkantı şiddetinde artış gözlemlenmiştir. Grafiği incelediğimizde çalkantı seviyelerinde oluşan bu değişim alt ve üst kayma tabakasında da görülmektedir ancak çalkantı şiddetlerindeki artış benzerlik göstermemektedir. $G/L=0.45$ mesafe oranı için N ve O istasyonlarında her bir geometrinin noktasal çizgi grafikleri incelendiğinde K istasyonuna göre akışın daha karmaşık bir bölgesinden verilerin alındığı ve bu sebeple noktasal çizgi grafiklerinin pozitif ve negatif değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu akış bu bölgede daha çalkantılı olduğu anlamına gelmektedir. $G/L=0.60$ için geometrilerin kuyruk kısımlarından belirli uzaklıklarda alınan noktasal çizgi grafiklerini incelediğimizde K ve N istasyonlarında alt ve üst kayma tabakasının akış şiddetlerinde oluşan farklılıklar grafiklerden de net anlaşılmaktadır. Bu durum x ekseninde asimetric bir grafik oluşturmuştur. O ve P istasyonlarında çalkantı şiddet aralıkları her grafik için ayrıdır ancak oluşan grafikler her bir geometri için simetriğe yakın bir karaktere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Ozgoren M., Sahin B., Kahraman A., Akilli H., Canpolat C. Experimental investigation of flow characteristics of two tandem spheres placed in a uniform flow. Euromech Fluid Mechanics Conference -8 (EFMC-8) 2010; September 13-16, s3-36, Germany.
- [2] Rattanasiri P., Wilson PA., Phillips AB. Numerical investigation of the drag of twin prolate spheroid hulls in various longitudinal and transverse configurations. In 2012 IEEE/OES Autonomous Underwater Vehicles (AUV) IEEE 2012; 1-7.
- [3] Tian W., Mao Z., Zhao F., Zhao Z. Layout optimization of two autonomous underwater vehicles for drag reduction with a combined CFD and neural network method. Complexity 2017.
- [4] Akbudak E., Yaniktepe B., Sekeroglu E., Kenan O., Ozgoren M. Comparison of wake region flow characteristics for a tandem arrangement of two torpedo-like geometries. The International Conference on Engineering, Natural and Applied Science (ICENAS'21) Book of Abstracts 2021; November 24-26, 122, Osmaniye, Turkey.
- [5] Kilavuz A., Sarigiguzel F., Ozgoren M., Durhasan T., Sahin B., Kavurmacioglu LA., Sekeroglu E., Yaniktepe B. The impacts of the free-surface and angle of attack on the flow structures around a torpedo-like geometry. European Journal of Mechanics-B/Fluids 2022; 92, 226-243.
- [6] "SavunmaSnayiST.com" Erişim adresi:
<https://www.savunmasanayist.com/insansiz-sualti-araci-nedir/> Erişim
Tarihi:22.08.2022
- [7] "Roketsan" Erişim adresi:
<https://www.roketsan.com.tr/tr/urunler/akya-yeni-nesil-agir-sinif-torpedo>
Erişim
Tarihi:18.03.2022
- [8] "Roketsan" Erişim adresi:
<https://www.roketsan.com.tr/tr/urunler/orka-yeni-nesil-hafif-sinif-torpedo>
Erişim
Tarihi:18.03.2022

- [9] “Roketsan” Erişim adresi:
<https://www.roketsan.com.tr/tr/urunler/dsh-denizalti-savunma-harbi-roketi-ve-atici-sistemi> Erişim
Tarihi:18.03.2022
- [10] “Roketsan” Erişim adresi:
<https://www.roketsan.com.tr/tr/urunler/atmaca-gemisavar-fuzesi> Erişim
Tarihi:18.03.2022
- [11] Schulz, B., Hobson, B., Kemp, M., Meyer, J., Moody, R., Pinnix, H., & Clair, M. S. (2003). Multi-UUV missions using RANGER MicroUUVs. Proc. 13th Unmanned Untethered Submersible Technology
- [12] Fiorelli, E., Leonard, N. E., Bhatta, P., Paley, D. A., Bachmayer, R., & Fratantoni, D. M. (2006). Multi-AUV control and adaptive sampling in Monterey Bay. IEEE journal of oceanic engineering, 31(4), 935-948.
- [13] Arsie, A., Savla, K., & Frazzoli, E. (2009). Efficient routing algorithms for multiple vehicles with no explicit communications. IEEE Transactions on Automatic Control, 54(10), 2302-2317
- [14] Goode, B. J., Kurdila, A. J., & Roan, M. J. (2012). A partitioning scheme for a switched feedback control law in two agent pursuit-evasion scenarios.
- [15] Huang, Z., Zhu, D., & Sun, B. (2016). A multi-AUV cooperative hunting method in 3-D underwater environment with obstacle. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 50, 192-200.
- [16] Zhang, X., Choi, K. S., Huang, Y., & Li, H. X. (2019). Flow control over a circular cylinder using virtual moving surface boundary layer control. *Experiments in fluids*, 60(6), 1-15.
- [17] Manzoor, R., Khan, U., Nazeer, G., & Hassan, S. (2018). Drag Reduction on a Square Cylinder using Multiple Detached Control Cylinders. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(5), 2023-2034
- [18] Soyler M. Döner salınımlı hareket yapan düz ve oluklu silindirlerin akış yapısının deneysel ve sayısal incelenmesi (Doktora tezi). Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi No. 672982, 2021, Osmaniye, Türkiye
- [19] Liu,B., Wang,L., Luo,Z. B., Xia,Z., Deng,X., Review of actuators for high speed active flow control, Sci. China Technol., 55(8), 2225–2240, 2012

- [20] Firat, E., Ozkan, G. M., Akilli, H., PIV measurements in the near wakes of hollow cylinders with holes, *Exp. Fluids*, 58(5),1–19,2017
- [21] Sarigiguzel, F., Kilavuz, A., Ozgoren, M., Durhasan, T., Sahin, B., Kavurmacioglu, L. A., & Yaniktepe, B. (2022). Experimental investigation of free-surface effects on flow characteristics of a torpedo-like geometry having a cambered nose. *Ocean Engineering*, 253, 111174
- [22] Jensen, S. T. (1995). Forces on underwater vehicles (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology)
- [23] Byrne, K. M. (1998). Real-time modeling of cross-body flow for torpedo tube recovery of the phoenix autonomous underwater vehicle (auv). *NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY CA*
- [24] Ananthakrishnan, P., Zhang, K. Q., AUV motion in a wave field, *Conference Proceedings (Cat. No. 98CH36259)*, 1059-1063, Nice-Fransa, 28 Eylül – 1 Ekim 1998
- [25] Molland, A. F., & Utama, I. K. A. P. (1997). Wind tunnel investigation of a pair of ellipsoids in close proximity
- [26] Molland, A. F., & Utama, I. K. A. P. (2002). Experimental and numerical investigations into the drag characteristics of a pair of ellipsoids in close proximity. *Proceedings of the Institution of Mechanical engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 216(2), 107-115
- [27] YANIKTEPE, B., Kahraman, A., & Şahin, B. (2003). The effect of Reynolds number on the vortex breakdown location. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(2), 53-60
- [28] Agrawal, A., Djenidi, L., & Antonia, R. A. (2006). Investigation of flow around a pair of side-by-side square cylinders using the lattice Boltzmann method. *Computers & fluids*, 35(10), 1093-1107
- [29] Deng, J., Shao, X. M., & Yu, Z. S. (2007). Hydrodynamic studies on two traveling wavy foils in tandem arrangement. *Physics of fluids*, 19(11), 113104
- [30] Husaini, M., Samad, Z., Rizal, M. (2009) CFD Simulation of Cooperative AUV Motion. P.Pinang. University Sains Malaysia.
- [31] Jagadeesh, P., Murali, K., & Idichandy, V. G. (2009). Experimental investigation of hydrodynamic force coefficients over AUV hull form. *Ocean engineering*, 36(1), 113-118.

- [32] Yu. X., Su, Y., Hydrodynamic Performance Calculation of Mini-AUV in Uneven Flow Field, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 868-872, Harbin Engineering University, Harbin-Cin, 14-18 Aralık 2010
- [33] Ozgören M., Doğan S., Okbaz A., Şahin B. ve Akıllı H. Küre serbest yüzey etkileşimiyle oluşan türbülanslı akış yapısının deneysel araştırılması, ULIBTK'11 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Eylül 2011, Zonguldak, Türkiye
- [34] Alam, M. M., & Meyer, J. P. (2013). Global aerodynamic instability of twin cylinders in cross flow. *Journal of Fluids and Structures*, 41, 135-145
- [35] Dantas, J. L. D., & De Barros, E. A. (2013). Numerical analysis of control surface effects on AUV manoeuvrability. *Applied Ocean Research*, 42, 168-181.
- [36] Allston, T., Munroe, J., Lewis, R., Mouland, D., Xu, J., Walker, D., Predicting the wake behind a large AUV hydrofoil, *Methods in Oceanography*, 10, 166-177, 2014.
- [37] Rattanasiri, P., Wilson, P. A., & Phillips, A. B. (2014). Numerical investigation of a fleet of towed AUVs. *Ocean Engineering*, 80, 25-35.
- [38] Leong, Z. Q., Ranmuthugala, D., Penesis, I., & Nguyen, H. (2015). Quasi-static analysis of the hydrodynamic interaction effects on an autonomous underwater vehicle operating in proximity to a moving submarine. *Ocean engineering*, 106, 175-188.
- [39] Xu, SJ., Han, DF., Ma, QW., Hydrodynamic forces and moments acting on a remotely operate vehicle with an asymmetric shape moving in a vertical plane, *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, 54, 1-9, 2015.
- [40] Chen, S. Y., Fei, Y. H. J., Chen, Y. C., Chi, K. J., & Yang, J. T. (2016). The swimming patterns and energy-saving mechanism revealed from three fish in a school. *Ocean Engineering*, 122, 22-31.
- [41] Yagmur S. Investigation of flow structure around torpedo like geometries. Graduate School Of Natural and Applied Science Of Selcuk University, Master's thesis, No.438592, Konya, Turkey, 2016.
- [42] Bulent, Y., Coskun, O., Besir, S., & Serkan, C. (2018). Experimental Investigation of Surface Flow Structure over Non-slender Diamond Wing. In

Exergy for A Better Environment and Improved Sustainability 1 (pp. 319-331). Springer, Cham.

- [43] Zhang, D., Chao, L., & Pan, G. (2019). Analysis of hydrodynamic interaction impacts on a two-AUV system. *Ships and Offshore Structures*, 14(1), 23-34.
- [44] Sarıg zel, F. , Torpedo-benzeri geometrisindeki akış özelliklerinin serbest yüzey ve pasif kontrol etkileri,  ukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 132, 2020
- [45] Kılavuz, A.,  zg ren, M., Durhasan, T.,  ahin, B., Kavurmacıo lu, L., Akıllı, H., Sarıg zel, F., Analysis of Attack Angle Effect on Flow Characteristics Around Torpedo-Like Geometry Placed Near the Free-Surface via CFD, *Journal of Polytechnic*, 24(4), 1579-1592, 2021
- [46] Akbudak, E., Yanıktepe, B.,  ekero lu, E., Kenan,  ., Ozgoren, M., Investigation of the Flow Structures for Two Tandem Arrangement of Torpedo-Like Geometries, *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(5), 135-155, 2022a.
- [47] Akbudak, E., Yanıktepe, B.,  ekero lu, E., Kenan,  ., Ozgoren, M., Investigation of flow characteristics around a blunt nose and conical stern geometry with single and tandem arrangements, *UNEC Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(2), 49-55, 2022b.
- [48] Kenan, O., Yanıktepe, B., Sekeroglu, E., Akbudak, E., Ozgoren, M., Experimental investigation of instantaneous flow properties around a hemispherical nose torpedo-like geometry exposed to Üniform flow, 4. International Baku Scientific Research Congress, Odlar Yurdu University, Baku-AZARBAIJAN, 542-551, 30 November-01 December 2022a..
- [49] Kenan, O., Yanıktepe, B., Sekeroglu, E., Akbudak, E., Ozgoren, M., Experimental investigation of instantaneous flow properties around a cambered nose torpedo-like geometry exposed to Üniform flow, 3. International Cappadocia Scientific Research, Nev ehir-Türkiye, 884-894, 11-12 December 2022b.
- [50] Kılavuz, A., Sarıg zel, F., Ozgoren, M., Durhasan, T., Sahin, B., Kavurmacıo lu, L. A. Akilli, H., Sekeroglu, E., Yanıktepe, B., The impacts of the free-surface and angle of attack on the flow structures around a torpedo-like geometry, *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, 92, 226-243, 2022.

- [51] Kenan, Ö., Yanıktepe, B., Şekeroğlu, E., Akbudak, E., Ozgoren, M., Experimental investigation of instantaneous flow properties around a hemispherical nose, 3-wing elliptical stern, torpedo-like geometry positioned in smooth flow conditions, 1. Uluslararası Bağöziçi Bilimsel Çalışmalar Kongresi, İstanbul-Türkiye, 444-454, 13-14 Mayıs 2023a.
- [52] Kenan, Ö., Yanıktepe, B., Şekeroğlu, E., Akbudak, E., Ozgoren, M., Experimental investigation of instantaneous flow properties around a hemispherical nose, 4-wing elliptical stern torpedo-like geometry positioned in uniform flow conditions, 1. Uluslararası Trakya Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Edirne-Türkiye, 296-306, 27-28 Mayıs 2023b.
- [53] Kenan, Ö., Yanıktepe, B., Şekeroğlu, E., Akbudak, E., Ozgoren, M., Experimental investigation of instantaneous flow properties around a cambered nose, 3-wing elliptical stern torpedo-like geometry positioned in uniform flow conditions, 7. Uluslararası Fen Bilimleri ve İnovasyon Kongresi, Ankara-Türkiye, 73-84, 03-04 Haziran 2023c.
- [54] Keane, R. D., Adrian, R. J., Ford, D. K., Single exposure double frame particle image velocimeters, in International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, 1990, 91–110
- [55] Keane, R. D., Adrian, R. J., Optimization of particle image velocimeters: II. Multiple pulsed systems, Meas. Sci. Technol., 2(10), 963–974, 1991
- [56] Westerweel, J., Draad, A. A., van der Hoeven, J. G. T., van Oord, J., Measurement of fully-developed turbulent pipe flow with digital particle image velocimetry, Exp. Fluids, 20(3), 165–177, 1996
- [57] Meinhart, C. D., Adrian, R. J., On the existence of uniform momentum zones in a turbulent boundary layer, Phys. Fluids, 7(4), 694–696, 1995.
- [58] Gurlek C., Sahin B., Ozalp C., & Akilli H. (2008). Flow structures around a three-dimensional rectangular body with ground effect. *Wind and Structures*, 11(5), 345-359.
- [59] Ozgoren M. Flow structures around an equilateral triangle arrangement of three spheres. *International Journal of Multiphase Flow* 2013; 53, 54-64.
- [60] Steven M. Ve ark (1999), <http://lrcf.mechse,illinois.edu/downloads/Software/Cleanvec/CleanVec.html> (26.07.2022- 11:28)

- [61] Şekeroğlu, E., Akarsu Uygulaması için bir dikey eksenli su türbininin akış ve güç parametrelerinin incelenmesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 85, 2019
- [62] Zdravkovich MM. Review of flow interference between two circular cylinders in various arrangements. Journal of Fluids Engineering 1977; 99(4): 618-633.
- [63] Mittal S., Kumar V. Flow-induced oscillations of two cylinders in tandem and staggered arrangements. Journal of Fluids and Structures 2001; 15(5): 717-736
- [64] Tobak M., Peake DJ. Topology of three-dimensional separated flows. Annual Review Of Fluid Mechanics 1982; 14(1): 61-85



ÖZGEÇMİŞ

- 1. Adı Soyadı** : Ezgi AKBUDAK
2. Ünvanı : Enerji Sistemleri Mühendisi
3. Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Enerji Sistemleri Mühendisliği	Giresun Üniversitesi	2019
Yüksek Lisans	Enerji Sistemleri Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	Devam ediyor

4. Yayınlar:

- [1] Akbudak, E., Yanıktepe, B., Şekeroğlu, E., Kenan, Ö., Ozgoren, M., Investigation of the Flow Structures for Two Tandem Arrangement of Torpedo-Like Geometries, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1(5), 135-155, 2022a.
- [2] Akbudak, E., Yanıktepe, B., Şekeroğlu, E., Kenan, Ö., Ozgoren, M., Investigation of flow characteristics around a blunt nose and conical stern geometry with single and tandem arrangements, UNEC Journal of Engineering and Applied Sciences, 2(2), 49-55, 2022b.

5. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:

- [1] Akbudak, E., Yanıktepe, B., Sekeroglu, E., Kenan, Ö., Ozgoren, M., Comparison Of Wake Region Flow Characteristics For A Tandem Arrangement Of Two Torpedo-Like Geometries, International Conference On Engineering, Natural And Applied Science 2021-Book Of Abstract, Osmaniye-TÜRKİYE, 122, 30 November 24-26, 2021a.
- [2] Akbudak, E., Yanıktepe, B., Sekeroglu, E., Kenan, Ö., Ozgoren, M., Investigation Of The Flow Structures For Two Tandem Arrangement Of Torpedo-Like Geometries, International Conference On Engineering, Natural And Applied Science 2021-Book Of Abstract, Osmaniye-TÜRKİYE, 123, 30 November 24-26, 2021b.

- [3] Kenan, Ö., Yanıktepe, B., Ozgoren, M., B., Sekeroglu, E., Akbudak, E., Durhasan, T., Kılavuz, A., Sahin, B., Akıllı, H., Kavurmacioğlu, L. A., Experimental Investigation Of Flow Characteristics Around A Torpedo-Like Geometry Having A Hemispherical Nose Exposed To Uniform Flow, International Conference On Engineering, Natural And Applied Science 2021-Book Of Abstract, Osmaniye-TÜRKİYE, 124, 30 November 24-26, 2021.
- [4] Akbudak, E., Şekeroğlu, E., Yanıktepe, B., Kenan, Ö., Özgoren, M., Sahin, B., Comparison of Flow Characteristics of Wake Regions of Single and Lined up in a Row Torpedo-Like Geometries at Uniform Flow Conditions, International Symposium on Aircraft Technology, MRO&Operations 2022-Abstract Book, Belgrade-SERBIA, 32, 14-16 September, 2022a.
- [5] Akbudak, E., Şekeroğlu, E., Yanıktepe, B., Kenan, Ö., Özgoren, M., Sahin, B., Investigation Of Flow Characteristics Around A Blunt Nose And Conical Stern Geometry With Single And Tandem Arrangements, 4th International Conference On Innovations In Natural Science And Engineering-Abstract Book, Bakü-Azerbaijan, 8, 26-29 October, 2022a.
- [6] Kenan, O., Yanıktepe, B., Sekeroglu, E., Akbudak, E., Ozgoren, M., Experimental investigation of instantaneous flow properties around a hemispherical nose torpedo-like geometry exposed to uniform flow, 4. International Baku Scientific Research Congress, Odlar Yurdu University, Baku-AZARBAIJAN, 542-551, 30 November-01 December 2022a.
- [7] Kenan, O., Yanıktepe, B., Sekeroglu, E., Akbudak, E., Ozgoren, M., Experimental investigation of instantaneous flow properties around a cambered nose torpedo-like geometry exposed to uniform flow, 3. International Cappadocia Scientific Research, Nevşehir-Türkiye, 884-894, 11-12 December 2022b.
- [8] Kenan, Ö., Yanıktepe, B., Şekeroğlu, E., Akbudak, E., Ozgoren, M., Experimental investigation of instantaneous flow properties around a hemispherical nose, 3-wing elliptical stern, torpedo-like geometry positioned in smooth flow conditions, 1. Uluslararası Bağoziçi Bilimsel Çalışmalar Kongresi, İstanbul-Türkiye, 444-454, 13-14 Mayıs 2023a.
- [9] Kenan, Ö., Yanıktepe, B., Şekeroğlu, E., Akbudak, E., Ozgoren, M., Experimental investigation of instantaneous flow properties around a

hemispherical nose, 4-wing elliptical stern torpedo-like geometry positioned in uniform flow conditions, 1. Uluslararası Trakya Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Edirne-Türkiye, 296-306, 27-28 Mayıs 2023b

- [10] Kenan, Ö., Yanıktepe, B., Şekeroğlu, E., Akbudak, E., Ozgoren, M., Experimental investigation of instantaneous flow properties around a cambered nose, 3-wing elliptical stern torpedo-like geometry positioned in uniform flow conditions, 7. Uluslararası Fen Bilimleri ve İnovasyon Kongresi, Ankara-Türkiye, 73-84, 03-04 Haziran 2023c.

Projeler:

- [1] Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK, Proje No: 214M318)
- [2] OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP-2022-PT2-043)



OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

FORM
YL11

OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 07/09/2023

Tez Başlığı / Konusu **Çoklu Dizilimli Yapıdaki Torpido Benzeri Modellerin Çevresinde Oluşan Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi**

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Özet ve Abstract, c) Giriş, d) Ana bölümler ve e) Sonuç, f) Kaynakça kısımlarından oluşan toplam 109 sayfalık kısmına ilişkin, 07/09/2023 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme tiplerinden biri uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 8 'dir.

Filtreleme Tip 1 (maksimum %30) ☐

1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
2- Kaynakça hariç,
3- Alıntılar dahil,
4- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Filtreleme Tip 2 (maksimum %10) ☒

1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
2- Kaynakça hariç,
3- Alıntılar hariç,
4- 5 Kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Ezgi AKBUDAK

Öğrenci No: 1911701103

Anabilim Dalı: Enerji Sistemleri Mühendisliği

Programı: Enerji Sistemleri Mühendisliği

Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

RAPORU DÜZENLEYEN