

BİR MODEL KARA TAŞITI ETRAFINDAKİ AKIŞ YAPISININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Ümit Nazlı TEMEL
Ata AĞIR
Cahit GÜRLEK
Kürşad Melih GÜLEREN
Ali PINARBAŞI

ÖZET

Bu çalışmada bir model kara taşıtı (Ahmed cismi) etrafındaki akış yapısı Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Yöntemi (PIV) kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler serbest yüzeyli, kapalı çevrim bir su kanalında model yüksekliğine ve serbest akım hızına bağlı olarak hesaplanan $Re_H=1.5 \times 10^4$ Reynolds sayısında gerçekleştirilmiştir. PIV yöntemiyle model boyunca çeşitli düzlemlerde zaman-ortalama ve anlık hız vektörleri, akım çizgileri ve girdap dağılımları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kara taşıtı aerodinamiği, Ahmed cismi, Parçacık görüntülemeli hız ölçme yöntemi

ABSTRACT

In this study, flow structures around a model ground vehicle (Ahmed body) were investigated experimentally using the particle image velocimetry (PIV) technique. The present experiments were conducted in a closed-loop open surface water channel with the Reynolds number $Re_H=1.5 \times 10^4$ based on the model height. The PIV technique provided time-averaged and instantaneous velocity vectors map, streamline topology and vorticity contours at various planes along the model.

Key Words: Ground vehicle aerodynamics, Ahmed body, Particle image velocimetry

1. GİRİŞ

Kara taşımacılığı, ülkemizde kullanılan en yaygın taşımacılık yöntemidir; yolcu taşımacılığının %95'i, yük taşımacılığının ise %92'si kara yoluyla yapılmaktadır [1]. Kara taşıtları aerodinamiğine ait detaylı bilgilerin elde edilmesi, yakıt tüketiminin ve yakıt emisyonlarının azaltılması, araç performansının, yolcu konforunun ve güvenliğinin artırılabilmesi açısından önemlidir.

Kara araçlarının aerodinamiği ile ilgili yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların çoğunluğunda gerçek araçların etrafındaki akış yapılarına benzer özellikleri oluşturabilecek basitleştirilmiş model araçlar kullanılmıştır [2, 3, 4, 5, 6]. Çalışmalarda en çok kullanılan basitleştirilmiş araç modeli Ahmed cismi olarak adlandırılan modeldir [2]. Ahmed ve arkadaşları [2] yaptıkları çalışmada Ahmed cisminin arkasındaki ölü akış bölgesinde üst üste konumlanmış bir çift at nalı girdabı ve eğik yan kenarlardan yayılan girdaplar gözlemlenmişlerdir [2]. Duell ve George [3] arka eğim açısı 90° olan otobüs benzeri Ahmed cismini ölü akış bölgesinde hız ve basınç ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Model arkasındaki ölü akış bölgesi büyük halka tipi bir girdaptan oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu ölü akış bölgesi yaklaşık olarak bir model yüksekliği mesafeye kadar genişlemektedir. Model alt ve üst yüzeylerindeki sınır tabakalar model arkasındaki keskin köşelerden ayrılarak kayma tabakalarını oluşturmuştur. Ölü akış

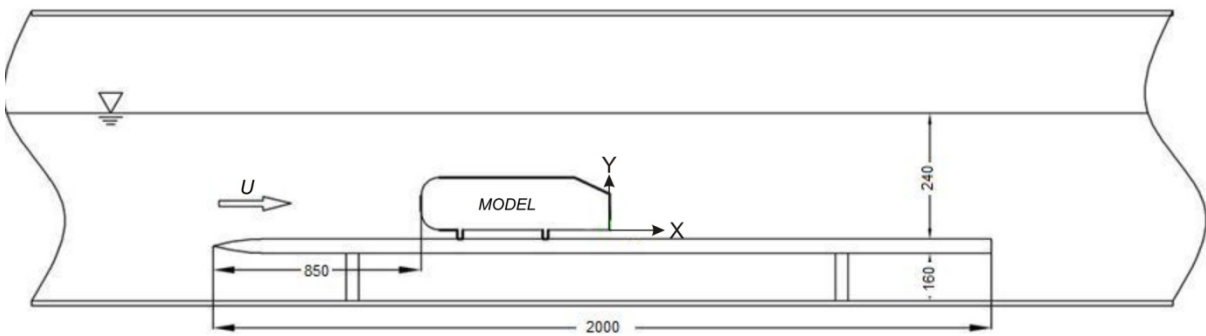
bölgesinde boyutsuz frekansı St (Strouhal sayısı)=1.157 olan periyodik girdap kopmaları ölçülmüştür. Sphon and Gillieron [4] bir model kara taşıtı etrafındaki karmaşık akış yapısını su kanalı içerisinde akış görüntüleme yöntemi kullanarak deneysel olarak incelemişlerdir. Modelin ön kısmında tavanda ve yanal yüzeylerde ayrılmış akış bölgeleri gözlemlenmiş, bu bölgelerdeki girdap kopmalarının gürültü gibi zararlı etkiler oluşturabileceği belirtilmiştir. Model arkasındaki ölü akış bölgesinde birbiri üzerinde ters yönde dönen girdap çiftinin hakim olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada Reynolds sayısı $Re=3 \times 10^3$ dolaylarında seçilmekle birlikte gözlemlenen akış yapılarının yüksek Reynolds sayılarındaki akış yapılarıyla benzerlik gösterdi ve bu nedenle düşük hızlı su kanallarının bu tür çalışmalar için kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Basitleştirilmiş model kara taşıtları etrafındaki akış yapısı hesaplamalı akışkanlar mekaniği (HAD) yöntemlerinin doğrulanması için, farklı türbülans modelleri kullanarak birçok sayısal çalışmada incelenmiştir [7, 8, 9, 10].

Bu çalışmada bir model kara taşıtı etrafındaki akış yapısı Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Yöntemi (PIV) kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen deneysel verilerin hesaplamalı akışkanlar mekaniği uygulamalarının doğrulanması için kullanılabilirliği düşünülmektedir.

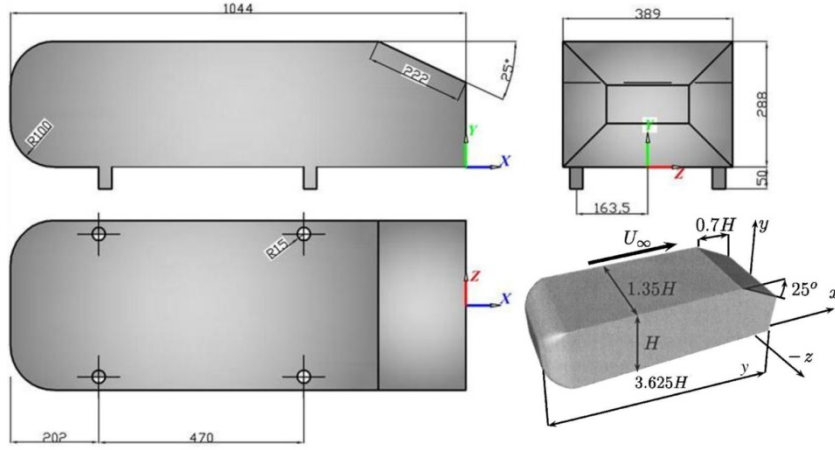
2. YÖNTEM

Deneyler, Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında bulunan kapalı çevrim açık su kanalında gerçekleştirilmiştir. Su kanalı, iki adet su deposu, bu depolar arasında bulunan saydam ölçüm bölgesi, suyun çevrimini sağlayan santrifüj pompa, pompa devrini kontrol eden hız kontrol ünitesi, akış düzenleyici ve filtrelerden oluşmaktadır. Kanalın türbülans yoğunluğu %0.5 civarındadır. Deneyler serbest akım hızı $U_{\infty}=218$ mm/s ve model yüksekliğine bağlı olarak hesaplanan $Re_H=1.5 \times 10^4$ Reynolds sayısında gerçekleştirilmiştir. Kara taşıtlarının aerodinamiği ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda, aracın sabit yola göre bağıl olarak hareket ettiği gerçek yol koşullarının benzeşimi için kullanan birçok yöntem vardır. Model araçların, yükseltilmiş, sabit bir platform üzerine yerleştirilmesiyle gerçekleştirilen benzeşim tekniği en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Bu çalışmada gerçek yol koşullarını sağlamak amacıyla model araç, kanal tabanından 160mm yükseklikte bulunan 20mm et kalınlığına sahip ve 2000 mm uzunluğundaki bir plaka üzerine yerleştirilmiştir. Keskin köşelerden oluşabilecek akış düzensizliklerini önlemek amacıyla plakanın uç kısımları yuvarlatılmıştır. Deney kurulumu şematik olarak Şekil 1'de görülmektedir.



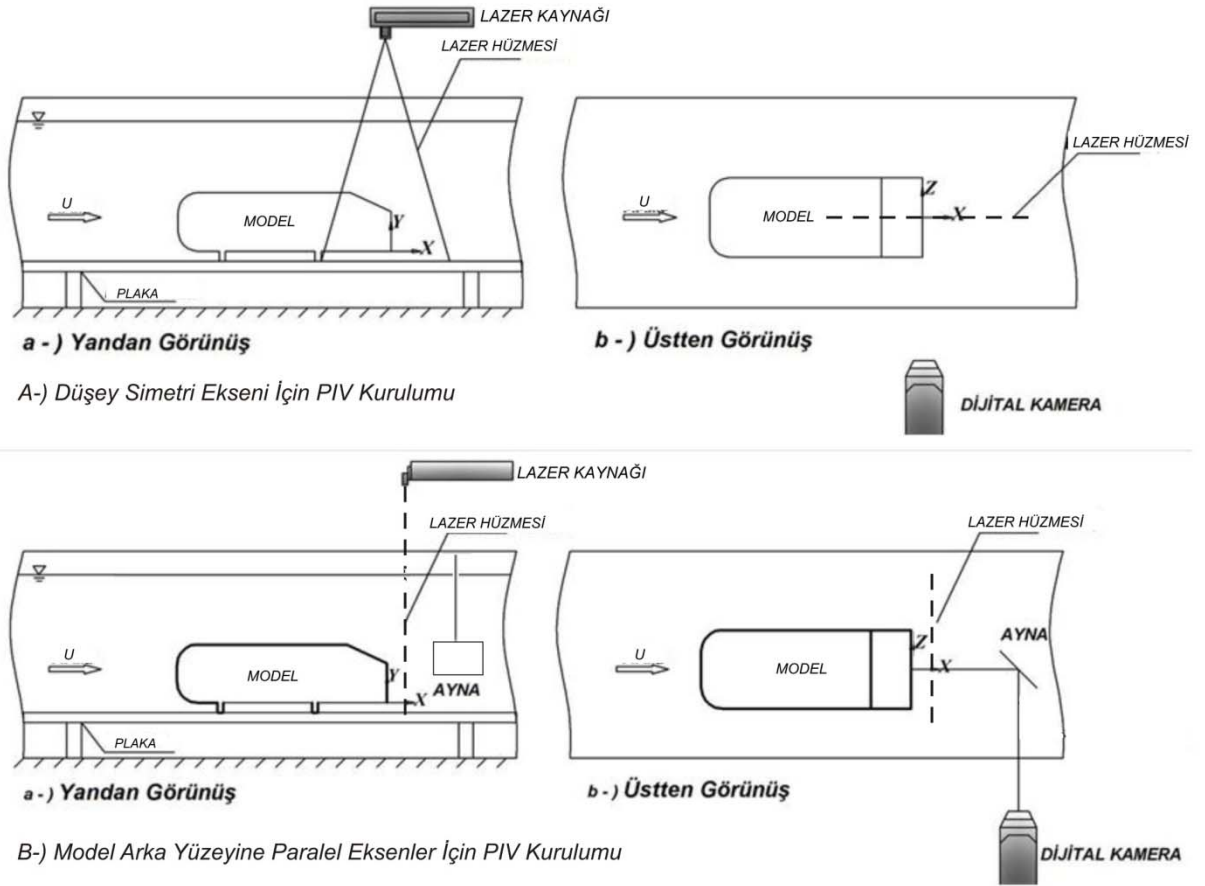
Şekil 1. Deney Kurulumu

Ahmed cismine ait geometrik detaylar Şekil 2' de görülmektedir. Bu çalışmada 1/4 ölçeğindeki Ahmed cismi kullanılmıştır, model pleksiglas malzemeden imal edilmiştir.



Şekil 2. Ahmed Cismi

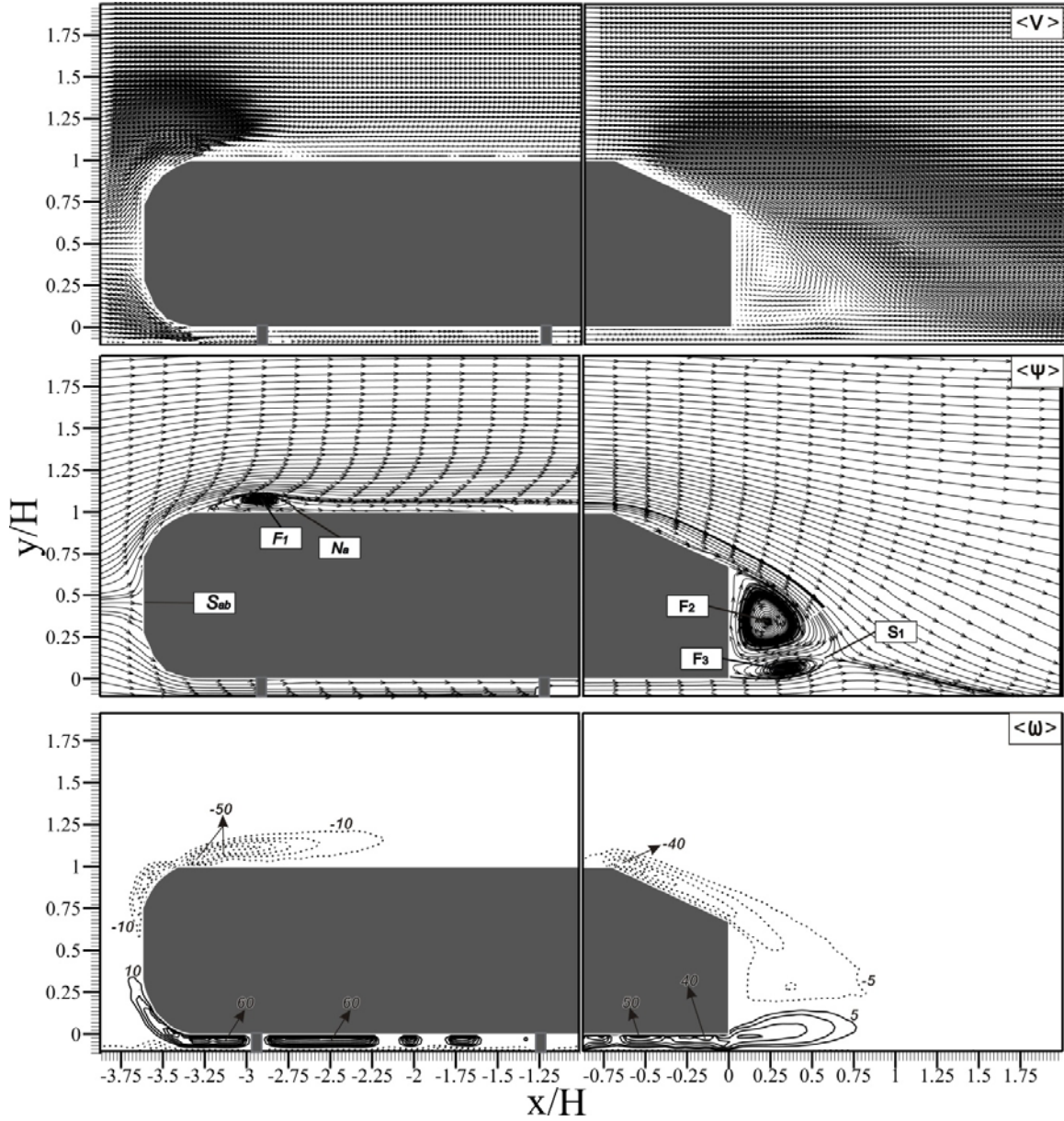
Model araç etrafındaki akış alanı PIV yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. PIV deney kurulumu şematik olarak Şekil 3' de görülmektedir. Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme yöntemiyle hız ölçümü yapabilmek için akış içerisinde yoğunluğu akışkan yoğunluğuna yakın parçacıklar eklenmektedir. Lazer huzmeleriyle belirli bir zaman aralığında arka arkaya aydınlatılan akış alanına ait iki adet görüntü, dijital kamera ile kaydedilmektedir. Elde edilen bu görüntüler, ağ olarak adlandırılan küçük bölgelere ayrılarak her bir ağ bölgesindeki parçacıkların yer değiştirmeleri bulunmaktadır. Her iki görüntü arasındaki zaman aralığı ve parçacıkların aldıkları mesafe bilindiğinden göz önüne alınan ağ bölgesindeki ve buna bağlı olarak tüm akış alanındaki hız vektörleri hesaplanabilmektedir. PIV sistemi her biri 120 mJ gücündeki Nd:YAG lazer kaynağı çifti, yüksek çözünürlüklü dijital kamera, lazer kaynakları ve dijital kameranın birlikte çalışmasını sağlayan eş zamanlayıcı ve çeşitli optik elemanlardan oluşmaktadır. Saniyede 15 adet görüntü çekebilen dijital kamera 1600x1186 piksel çözünürlüğe sahiptir ve 60 mm lik objektifle donatılmıştır. Akış içerisinde 12 mikron çapında küresel parçacıklar serpiştirilmiştir. Ölçüm alanı yaklaşık 2 mm kalınlığındaki lazer huzmesiyle aydınlatılmıştır. Lazer darbeleri arasındaki zaman aralığı 2ms olarak seçilmiştir. Art arda kaydedilen iki adet görüntüden elde edilen anlık hız vektör alanları kullanılarak anlık akım çizgileri ve girdap dağılımları elde edilmiştir. Zaman-ortalama akış yapısına ait özellikleri belirlemek amacıyla 350 adet anlık hız alanı ölçülmüştür.



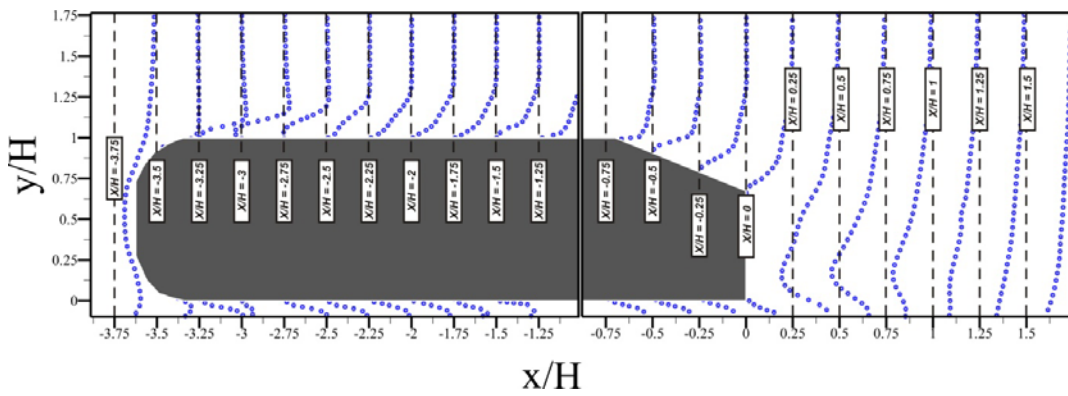
Şekil 3. PIV Deney Kurulumu

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

PIV ölçümleri model boyunca düşey simetri ekseni $z=0$ ve model arka yüzeyine paralel $x=0.08H$, $1.08H$, $1.80H$, $2.72H$ düzlemlerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4' de düşey simetri ekseninde, model etrafındaki ortalama hız vektörleri $\langle v \rangle$, akım çizgileri $\langle \psi \rangle$ ve eş girdap eğrilerinin $\langle \omega \rangle$, dağılımı görülmektedir. Burada kesik çizgiler negatif (saat yönünde), sürekli çizgiler ise pozitif (saatin tersi yönünde) girdap dağılımını göstermektedir. Model ön yüzeyindeki durgunluk noktasından (S_{ab}) yukarı doğru yönelen akış, model ön üst köşesinden ayrılarak model üzerinde ayrılmış bir akış bölgesi oluşturmuştur. Bu ayrılmış akış bölgesi, model ön yüzeyinden $x=0.91H$ mesafedeki N_a noktasına kadar genişlemektedir. Ayrılmış akış bölgesinin kalınlığı $0.11H$ kadardır. F_1 noktası model ön yüzeyine $x=0.7H$ uzaklıktadır. Model arkasındaki 25° eğimli yüzeyde akış ayrılması gözlemlenmemiştir. Model arkasındaki akış alanında birbiri üzerinde ters yönde dönen, simetrik olmayan çevrinti çifti açıkça görülmektedir. Saat yönünde dönen çevrinti model arkasında daha büyük bir alanı kaplamaktadır. Şekil 4Z' de hız vektörleri $\langle V \rangle$ ve akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, dağılımından model arka yüzeyine doğru yönelen ters akış ve model arka yüzeyindeki yukarı doğru yönelmiş akış görülebilmektedir. Kara taşıtlarının arkasındaki ayrılmış akış bölgesinin büyüklüğünün araçlara etkiyen direnç kuvvetinde önemli rol oynadığı bilinmektedir. Model arkasındaki ayrılmış akış bölgesi model arka yüzeyinden $x=0.6H$ mesafedeki S_1 noktasına kadar genişlemektedir. S_1 noktası plaka yüzeyinden $y=0.3H$ yüksekliktedir. F_1 ve F_2 noktalarının koordinatları sırasıyla $x_1=0.23H$, $y_1=0.34H$ ve $x_2=0.34H$, $y_2=0.059H$ dir. Şekil 5'de hesaplamalı akışkanlar mekaniği uygulamaları için model boyunca düşey simetri eksenindeki hız profilleri sunulmuştur.

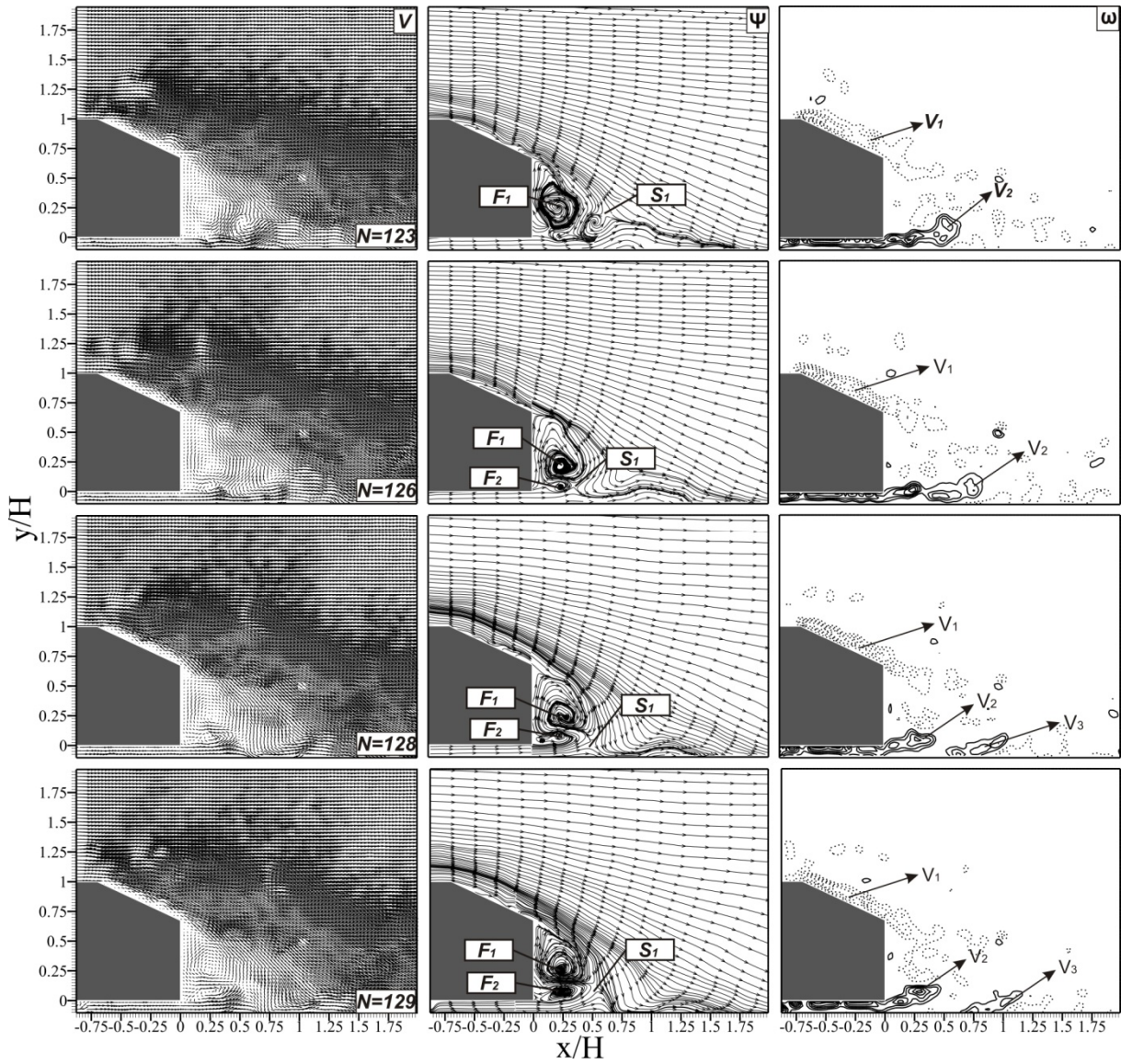


Şekil 4. Düşey Simetri Eksenini $z=0$ 'da Zaman Ortalama Hız Vektörleri $\langle v \rangle$, Akım Çizgileri $\langle \psi \rangle$ ve Eş Girdap Eğrileri $\langle \omega \rangle$, Dağılımı ($\langle \omega_{\min} \rangle = \pm 5 \text{ s}^{-1}$, $\Delta \langle \omega \rangle = 10 \text{ s}^{-1}$).



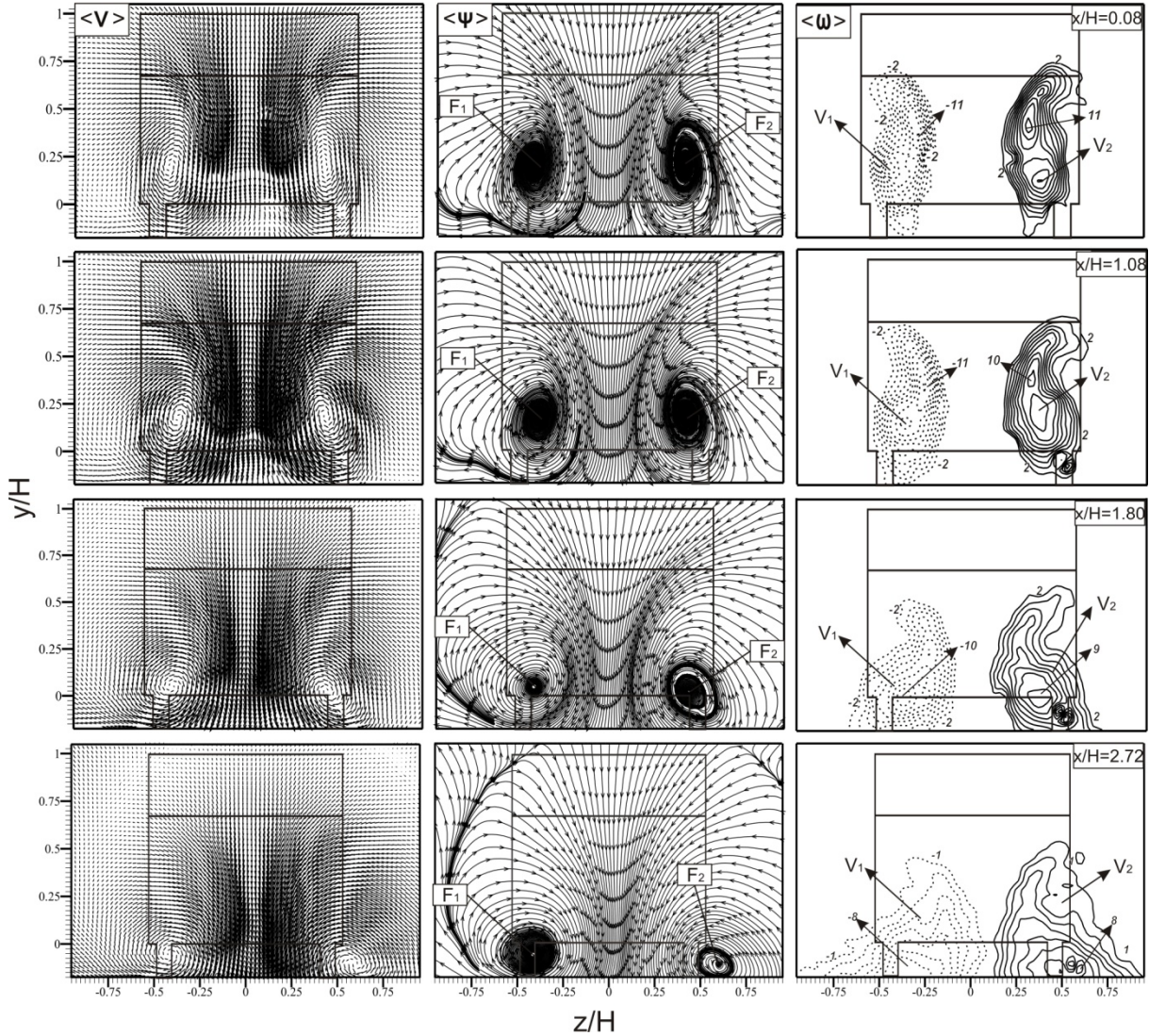
Şekil 5. Düşey Simetri Eksenini $z=0$ İçin Hız Profilleri.

Kara taşıtlarının aerodinamik yapılarının daha iyi anlaşılabilmesi için araç etrafındaki anlık akış alanlarının elde edilmesi önemlidir. PIV ölçüm yönteminin üstünlüklerinden biri de ölçüm yapılan akış alanının tümüne ait ortalama ve anlık görüntülerin elde edilebilmesidir. Şekil 6'da düşey simetri eksenini $z=0$ 'da model arkasındaki anlık hız vektörleri v , akım çizgileri ψ ve eş girdap eğrilerinin ω , dağılımı görülmektedir. Burada N , elde edilen 350 adet anlık görüntü içerisinde seçilen anlık görüntünün sayısını göstermektedir. Model arkasındaki akış yapısı oldukça düzensizdir. Akış alanlarının gelişimi ve birbirleriyle olan etkileşimi açıkça görülmektedir. $N=123$ 'de eğimli yüzeyin alt köşesinden ayrılarak saat yönünde dönen akış alanının etkin olduğu görülmektedir. $N=126$ 'dan başlayarak model alt arka köşesinden ayrılarak saatin tersi yönde dönen akış alanının gelişimi gözlemlenebilir. Üst kısımdaki negatif girdap (V_1) model eğik yüzeyinden ayrılmayarak akış yönünde uzamaktadır. Bu girdaptan kopan girdap parçacıklarının alt kısımdaki pozitif girdap (V_2) ile etkileştiği görülmektedir. Bu girdap etkileşimlerinin modele dinamik yükler uygulayabileceği düşünülmektedir. Pozitif girdap (V_2) akış yönünde ilerleyerek uzamakta ($N=126$) ve kopmaktadır (V_3 , $N=129$). Elde edilen anlık görüntülerde modelin yerleştiği plaka yüzeyinin neden olduğu negatif girdap parçacıkları da gözlemlenmiştir. Akışın plaka yüzeyine birleşme noktasının akış boyunca plaka yüzeyinde ileri ve geri kararsız olarak hareket ettiği görülmektedir.



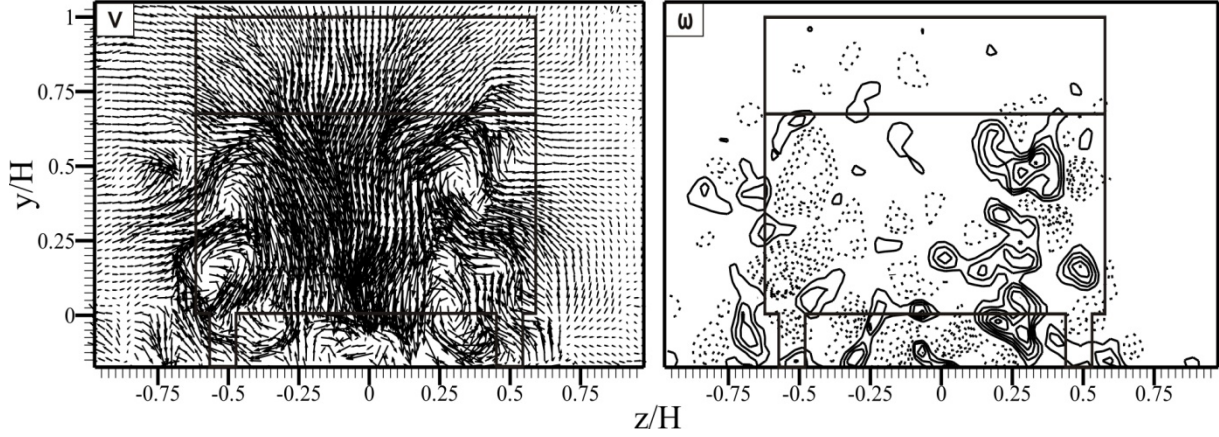
Şekil 6. Düşey Simetri Eksenini $z=0$ 'da Anlık Hız Vektörleri v , Akım Çizgileri ψ ve Eş Girdap Eğrileri ω , Dağılımı ($\langle \omega_{\min} \rangle = \pm 5 \text{ s}^{-1}$, $\Delta \langle \omega \rangle = 10 \text{ s}^{-1}$).

Şekil 7’de model arka yüzeyine paralel $x=0.08H$, $1.08H$, $1.80H$, $2.72H$ düzlemlerindeki ortalama hız vektörleri $\langle v \rangle$, akım çizgileri $\langle \psi \rangle$ ve eş girdap eğrilerinin $\langle \omega \rangle$, dağılımı görülmektedir. Tüm akış alanlarında model arkasındaki eğimli yanal yüzeylerin oluşturduğu birbirine göre ters yönde dönen iki adet güçlü çevrintinin etkin olduğu açıkça görülmektedir. Çevrinti merkezleri akış yönünde aşağı doğru ilerleyerek modelin yerleştirildiği plaka yüzeyine yaklaşmaktadır. Çevrinti merkezi F_1 ’in plakaya olan düşey mesafesi $x=0.08H$ düzleminde $y_1=0.37H$ iken $x=2.72H$ düzleminde $y_1=0.23H$ değerindedir. Bütün düzlemlerde çevrinti çifti arasındaki aşağı doğru yönelmiş akış alanı açıkça görülmektedir. Akış yönünde ilerledikçe girdap çifti basıklaşıp yayılarak model sınırlarının dışına doğru genişlemekte ve birbirine yaklaşmaktadır. Model arka yüzeyine paralel düzlemde genel akış yapısı olarak akış yönünde ilerledikçe, akışın aşağıya doğru hareket ettiği ve model sınırlarının dışına doğru genişlediği görülmektedir.



Şekil 7. Model Arka Yüzeyine Paralel Düzlemlerdeki Ortalama Hız Vektörleri $\langle v \rangle$, Akım Çizgileri $\langle \psi \rangle$ ve Eş Girdap Eğrileri $\langle \omega \rangle$, Dağılımı.

Şekil 8’de $x=1.08H$ düzlemindeki anlık hız vektörleri v ve eş girdap eğrileri ω , dağılımı görülmektedir. Anlık akış alanının ortalama akış alanından oldukça farklı olduğu ve ortalama akış alanındaki girdap çiftinin birçok anlık girdaptan meydana geldiği görülmektedir. Akış alanına ait 350 adet anlık görüntüden elde edilen animasyonlarda negatif ve pozitif girdap parçacıklarının rastgele hareket ettiği, birbirleriyle ve model yerleştirildiği plakaya etkileşim içinde oldukları görülmektedir.



Şekil 8. Model Arka Yüzeyine Paralel $x=1.08H$ Düzlemindeki Anlık Hız Vektörleri v ve Eş Girdap Eğrileri ω , Dağılımı.

SONUÇ

Bu çalışmada bir model kara taşıtının (Ahmed cismi) zaman ortalama ve anlık akış yapısı deneysel olarak incelenmiştir. Düşey simetri ekseninde modelin ön üst yüzeyinde ayrılmış akış bölgesi gözlemlenmiştir. Modelin 250 eğimli yüzeyinde akış ayrılması gözlemlenmemiştir. Model arkasındaki akış alanını birbiri üzerinde ters yönde dönen, simetrik olmayan çevrinti çifti oluşturmaktadır. Model arka yüzeyine paralel düzlemlerde eğimli yanal yüzeylerin oluşturduğu birbirine göre ters yönde dönen iki adet güçlü çevrintinin etkin olduğu görülmektedir. Anlık görüntüler yardımıyla model arkasındaki akış yapılarının etkileşimi sunulmuştur. Bu çalışmada elde edilen deneysel sonuçların hesaplamalı akışkanlar mekaniği uygulamalarının doğrulanması için kullanılabilmesi düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Karayolları Genel Müdürlüğü 2007–2011 Stratejik Plan Raporu
- [2] S.R. Ahmed, G. Ramm, G. Faltin, Some salient features of the time averaged ground vehicle wake, SAE Paper 840300, 1984.
- [3] E.G. Duell, A.R. George, Experimental study of a ground vehicle body unsteady near wake, SAE Paper 1999-01-0812, 1999.
- [4] A.Spohn, P. Gillieron, Flow separations generated by a simplified geometry of an automotive vehicle, IUTAM Symposium on Unsteady Separated Flows, 8–12 April, Toulouse, France, 2002.
- [5] H. Lienhart, S. Becker, Flow and turbulente structure in the wake of a simplified car model, SAE Paper 2003-01-0656, 2003.
- [6] G. Vio, S. Watkins, P. Mousley, J. Watmuff, S. Prasad, Flow structures in the near-wake of the Ahmed model, J. Fluids and Structures 20 (2005) 673–695.
- [7] S. Krajnovic, L. Davidson, Large-Eddy simulation of the flow around a simplified bus, In Third Afosr International Conference on DNS and LES, University of Texas at Arlington, Texas, USA, 2001.
- [8] S. Krajnovic, L. Davidson, Numerical study of the flow around a bus-shaped body, ASME J. Fluids Eng. 125 (2003) 500–509.
- [9] D.B. Sims-Williams, B.D. Duncan, The Ahmed model unsteady wake: Experimental and computational analyses, SAE paper 2003-01-1315, 2003.
- [10] P.S. Bernard, P. Collins, M. Potts, Vortex method simulation of ground vehicle aerodynamics, SAE paper 2005-01-0549, 2005.

ÖZGEÇMİŞ

Ümit Nazlı TEMEL

Lisans öğrenimini Gaziantep Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde, Yüksek Lisans öğrenimini ise Cumhuriyet Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde tamamladı. Halen Cumhuriyet Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında Doktora öğrenimine devam etmektedir.

Ata AĞIR

2008 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümünü Bitirmiştir. Aynı Üniversitede 2009 yılında Yüksek Lisans Programına Makine Mühendisliği Bilim Dalında başlamış ve halen devam etmektedir.

Cahit GÜRLEK

Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 1998 yılında mezun oldu. Aynı bölümde 1999 yılında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Yüksek Lisans eğitimini 2001 yılında tamamladı. Doktora eğitimini Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde 2008 yılında bitirdi. Halen Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde çalışmalarını sürdürmektedir.

Kürşad Melih GÜLEREN

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Havacılık Mühendisliği Bölümü'nden 1999 yılında mezun oldu. Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans eğitimini 2003 yılında tamamladı. Doktora eğitimini Manchester Üniversitesi Makine Mühendisliği Bilim Dalında 2007 yılında bitirdi. Halen Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde çalışmalarını sürdürmektedir.

Ali PINARBAŞI

İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 1985 yılında mezun oldu. Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde 1986 yılında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Yüksek Lisans eğitimini 1989 yılında 9 Eylül Üniversitesi'nde tamamladı. Doktora eğitimini Liverpool Üniversitesi'nde 1996 yılında bitirdi. Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde 1996 yılında Yrd. Doç. Dr. 2003 yılında Doç. Dr. ve 2009 yılında Profesör Dr. Unvanlarını almıştır. Halen Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde çalışmalarını sürdürmektedir.