



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Yüzey geometrisinin mermi aerodinamik davranışları üzerine etkisinin nümerik incelenmesi

Numerical investigation of the effect of surface geometry on bullet aerodynamic behaviours

Yazar(lar) (Author(s)): Selçuk SELİMLİ

ORCID¹: 0000-0002-2551-3860

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Selimli S., “Yüzey geometrisinin mermi aerodinamik davranışları üzerine etkisinin nümerik incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 24(1): 299-304, (2021).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.698872

Yüzey Geometrisinin Mermi Aerodinamik Davranışları Üzerine Etkisinin Nümerik İncelenmesi

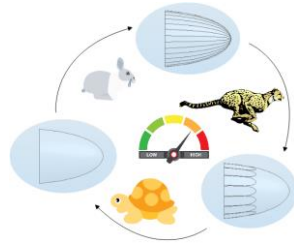
Numerical Investigation of the Effect of Surface Geometry on Bullet Aerodynamic Behaviours

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Mermi geometrisi ve aerodinamiğinin incelenmesi (Investigation of bullet geometry and aerodynamics)
- ❖ Nümerik metot ile geometri iyileştirme çalışması (Geometry improvement study with numerical method)
- ❖ Kanal veya çukur yüzey ile mermi menzil iyileştirmesi (Range improvement by riblet or dimpled surface)

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Mermi çekirdeği geometrisinin aerodinamik davranışlar üzerine etkisi incelenmiştir. (The effect of bullet geometry on aerodynamic behaviours have been investigated.)



Şekil. Mermi aerodinamik iyileştirmeleri / Figure. Bullet aerodynamic improvements

Amaç (Aim)

9 mm parabellum tip hafif mermi çekirdeği yüzeyine oluşturulan kanal veya çukur yapının mermi aerodinamik davranışı üzerine etkisi değerlendirilmiştir. / The effect of riblet or dimpled surface form on the aerodynamic behaviour of a 9 mm parabellum type light core bullet has been discussed.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Mermi çekirdeği etrafındaki sıkıştırılabilir akış, Sutherland's kanununa bağlı viskoz etkiler dikkate alınarak Spalart Allmaras türbülans akış modellemesi kullanılarak ANSYS Fluent yazılımı ile incelenmiştir. / Compressible flow around the bullet has been examined with ANSYS Fluent software using Spalart Allmaras turbulence flow modelling, taking into account the viscous effects due to Sutherland's law.

Özgünlük (Originality)

Bu çalışmada, mermi geometrisi iyileştirmelerinin, menzil ve hedef stabilizasyonuna sunacağı katkı araştırılarak ilgili alana katkı sunulması hedeflenmiştir. / In this study, it is aimed to contribute to the related field by investigating the contribution of bullet geometry improvements to range and target stabilization.

Bulgular (Findings)

Mermi modeli üzerine oluşturulan kanal veya çukur yüzey formunun mermi hızında artışa, kayma gerilimi ve sürükleme kuvvetinde ise azalışa sebep olabildiği değerlendirilmiştir. / It was concluded that the riblet or dimpled surface formed bullet model could lead to an increase of bullet velocity and a decrease in shear stress and drag force.

Sonuç (Conclusion)

Kanal veya çukur yapının mermi hareketinde stabilizasyon yanında menziline de olumlu katkılar sağlayacağı değerlendirilmiştir. / It was evaluated that the riblet or dimple formed bullet surface provides positive contributions to its range as well as stabilization in bullet motion.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarı çalışmada kullandığı materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan eder. / The author of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Yüzey Geometrisinin Mermi Aerodinamik Davranışları Üzerine Etkisinin Nümerik İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Selçuk SELİMLİ*

Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 04.03.2020 ; Kabul/Accepted : 11.04.2020)

ÖZ

Gelişen silah sistemleri, sistemlerde kullanılan sarf malzeme niteliğindeki mermilerin üzerinde de çalışılması ve geliştirilmesi ihtiyacını gerektirmektedir. Malzeme ve geometri alanında gerçekleştirilen iyileştirme çalışmaları ile tahrip güçleri, menzilleri, hareket ve hedefe ulaşım stabilizasyonları iyileştirilmiş mermilerin üretimi çalışılmaktadır. Bu çalışmada, 9 mm parabellum tip hafif mermi çekirdeği yüzeyine oluşturulan kanal yapı ve çukur yapının mermi etrafında oluşan aerodinamik akış davranışı üzerine etkisinin incelenmesi konu edinilmiştir. Mermi çekirdeği etrafında oluşan hava akışı hesaplamalı akışkanlar dinamiği tabanlı Fluent yazılımı ile incelenmiştir. Sıkıştırılabilir hava akışı, Sutherland's kanununa bağlı viskoz etkiler dikkate alınarak Spalart Allmaras türbülans akış modeli ile analiz edilmiştir. Çalışmada mermi geometrisi üzerine oluşturulan kanal veya çukur yüzey formunun mermi hızında artışa, kayma gerilimi ve sürüklenme kuvvetinde ise azalışa sebep olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Mermi yüzey formunda meydana getirilecek çukur veya kanal yapının mermi hareketinde stabilizasyon yanında menziline de olumlu katkılar sağlayacağı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mermi, türbülans akış, kanal ve çukur yüzey, sürüklenme kuvveti.

Numerical Investigation of the Effect of Surface Geometry on Bullet Aerodynamic Behaviours

ABSTRACT

Developing gun systems require the studying and development of the bullets that are consumable supplies. By the improvement works in the field of materials and geometry, the production of bullets whose destroying forces, ranges, stabilization of movement and access to the target are improved was being studied. In this study, the effect of riblet and dimple formed body surface of a 9 mm parabellum type light core bullet on the aerodynamic flow behaviour around the bullet was discussed. Airflow around the bullet core was investigated by the computational fluid dynamic base software Fluent. The compressible airflow was analysed with the Spalart Allmaras turbulence flow model, considering the viscous effects due to Sutherland's law. In this study, it was concluded that the riblet and dimpled surface formed bullet geometry could lead to an increase of bullet velocity and a decrease in shear stress and drag force. It was evaluated that the dimple and riblet formed bullet surface provides positive contributions to its range as well as stabilization in bullet motion.

Keywords: Bullet, turbulent flow, riblet and dimpled surface, drag force.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Doğa bilim alanı için uygulanabilir biyolojik yaradılış özelliklerini sonsuz bir kaynak olarak sunmaktadır. Köpek balığı gibi birçok deniz canlısının derisi ve kara makas gaga gibi birçok kuş türünün tüyleri yüzey sürüklenme etkilerini baskılayıcı geometrik yapılara sahiptirler. Bilgisayar tabanlı nümerik analizleme ile gerçekleştirilen bu çalışmada doğadan da esinlenilerek mermi çekirdeği geometrisi üzerinde oluşturulan kanal ve çukur yapı ile dinamik akışkan akışı olumsuzluklarının azaltılması ve böylece tahrip gücü ve menzili iyileştirilmiş mermi çekirdeklerinin elde edilmesi araştırılmıştır. Bu bağlamda, gerçekleştirilen literatür taramasında farklı geometrik yapılar etrafındaki akışkan akışı etkileşimlerinin optimizasyonuna yönelik önerimler çalışma konusunu destekler niteliktedir. Thakur vd., çalışmalarında, farklı küt gövde

geometrilerine sahip objeler etrafında gerçekleşen akışkan akışını incelemişler, geometrik optimizasyon ile hidrodinamik davranışların iyileştirilmesi konusuna değinmişlerdir. Akış doğrultusuna dik burun kesit alanındaki artışın geometri etrafında oluşan girdap akım döngüleri miktarını artırdığını belirtmişlerdir [1]. Sahoo ve Laha, çalışmalarında küt burunlu bir gövde etrafındaki hava akışında hava sürtünme katsayısı değerinin artan burun yarıçapı ile arttığını tespit etmişlerdir [2]. Litz, çalışmasında aerodinamik sürtünmenin balistik alanında uzun menzilli yörünge ve mesafe üzerine etkisini farklı mermi gövde geometrileri üzerinde incelemiş ve daralan ön alanlı geometrilerde sürtünmenin de azaldığını ifade etmiştir[3]. Gemba, deneysel çalışmasında geometriler etrafındaki hava akışında hava sürtünmesi değerinin keskin kenara bağlı olarak büyük değerlere ulaştığını ifade etmiştir[4]. Diez vd., yaptıkları çalışmada küt burunlu bir gövde etrafındaki akış sürüklenme katsayısını azaltmak amacıyla gövde üzerine oluşturdukları oyuk yüzeylerin katkısını incelemişlerdir. Sonuç olarak

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : selcukselimli@karabuk.edu.tr

oluşturulan oyuk yüzeylerin %25,6 oranında sürüklenme katsayısını azalttığı belirtilmiştir[5]. Khan ve Saha, yaptıkları çalışmada farklı burun yapısına sahip mermi çekirdekleri etrafındaki hava akışı için aerodinamik davranışlarını nümerik yaklaşımlar kullanarak incelemişler, hız ve basıncın keskin ve yuvarlatılmış kenar yapılı geometriler etrafındaki dağılımını değerlendirmişlerdir[6]. Bixler ve Bhushan, yaptıkları çalışmada köpek balığı derisinde yer alan kanal yüzeyin sürüklenme katsayısı üzerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Kanal yapının yüzey sürüklenme katsayısını azalttığını belirlemişlerdir[7]. Choi vd., çalışmalarında çukur yüzeye sahip objeler etrafındaki akışkan akışında, çukur yüzeyin yüzey sürüklenme katsayısı üzerine etkisini bir golf topu üzerinde incelemişlerdir. Çukur yüzeyin sürüklenme katsayısını önemli ölçüde azaltıcı etki gösterdiğini ifade etmişlerdir[8]. Lim ve Lee, deneysel çalışmalarında U kanallı yüzeye sahip dairesel kesitli bir boru etrafındaki akışı incelemişlerdir. Kanallı yapının boru yüzeyine yakın akış alanında viskoz girdap etkileri baskıladığı değerlendirilmiştir[9]. Taheri, bilgisayar tabanlı nümerik çalışmasında kambur balina derisinde yer alan kanallı yüzeyin hidrodinamik akışkan davranışları üzerine etkisini yorumlamıştır. Kanallı yapının akışkan kavitsiyonel akışını ve sürüklenme katsayısını baskıladığını ifade etmiştir[10]. Jovanovic vd., çalışmalarında çukurlu yüzeye sahip bir katı obje etrafındaki akışkan akışı dinamik davranışını incelemişler, çukurlu yüzeyin sürüklenme katsayısını azaltıcı etkisinin önemli düzeyde olduğunu belirlemişlerdir[11]. Stanly vd., çalışmalarında bir araç model geometrisi üzerinde oluşturulan çukurlu yüzeyin aerodinamik sürüklenme değerini azalttığını gözlemlemişlerdir[12]. Chowdhury vd., bir golf topu üzerindeki çukurlu yüzeyin top aerodinamik davranışlarını etkilediğini gözlemlemişlerdir. Çalışma neticesinde çukurlu yapının yüzey sürüklenme katsayısını önemli ölçüde değiştirdiğini değerlendirmişlerdir[13]. Literatür çalışması ışığında mermi çekirdeği menzil ve tahrip gücünü artırmak üzere çekirdek yüzeyinde oluşturulacak kanal ve çukurlu yüzeyin aerodinamik davranış üzerine etkisi bilgisayar tabanlı nümerik inceleme sürecinde değerlendirilmiştir. Çalışma, ön çalışma niteliğinde olup alanda farkındalık oluşturmak istenmiştir. Çalışma kapsamında sıkıştırılabilir dış akış modeli için literatürde sıkça atıfta bulunan Spalart Allmaras türbülans modeli kullanılmıştır [14], [15]. Model ifadesi denklem (1)'de verildiği gibidir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\tilde{v}) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\tilde{v}U) = G_v + \frac{1}{\sigma_v} \left[\frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ (\mu + \rho\tilde{v}) \frac{\partial \tilde{v}}{\partial x_i} \right\} + C_{b2}\rho \left(\frac{\partial \tilde{v}}{\partial x_i} \right)^2 \right] - Y_v + S_{\tilde{v}} \quad (1)$$

Denklem (1)'de yer alan G_v türbülans viskozite üretim değerini, Y_v türbülans viskozite yıkım değerini C_{b2} , σ_v sabite değerleri ν moleküler kinematik viskozite değerini temsil etmektedir. Türbülans viskozite μ değeri denklem (2)'te verildiği haliyle belirlenir.

$$\mu = \rho\tilde{v}f_{v1} \quad (2)$$

$$f_{v1} = \frac{\chi^3}{\chi^3 + C_{v1}^3} \quad (3)$$

$$\chi = \frac{\tilde{v}}{\nu} \quad (4)$$

$$G_v = C_{b1}\rho\tilde{S}\nu \quad (5)$$

$$\tilde{S} = S + \frac{\nu}{\kappa^2 d^2} f_{v2} \quad (6)$$

$$f_{v2} = 1 - \frac{\chi}{1 + \chi f_{v1}} \quad (7)$$

C_{b1} , κ sabite değerleri, d katı yüzeyden uzaklığı, S_v deformasyon tensörünün skaler değerliğini temsil etmektedir.

$$Y_v = C_{\omega 1}\rho f_{\omega} \left(\frac{\nu}{d} \right)^2 \quad (8)$$

$$f_{\omega} = g \left[\frac{1 + C_{\omega 3}^6}{g^6 + C_{\omega 3}^6} \right]^{1/6} \quad (9)$$

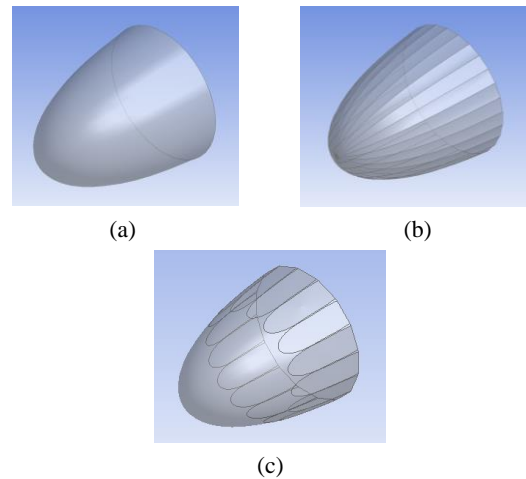
$$g = r + C_{\omega 2}(r^6 - r) \quad (10)$$

$$r = \frac{\nu}{\tilde{S}\kappa^2 d^2} \quad (11)$$

$C_{\omega 1}$, $C_{\omega 2}$, $C_{\omega 3}$ sabite değerlerdir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL and METHOD)

Parabellum tip 9 mm çapındaki mermi çekirdeği üç boyutlu geometrik modelleri Ansys Design Modeller yazılımında üç farklı yüzey formuna sahip olacak şekilde oluşturulmuştur. Mermi çekirdeği boyutları referans [6]'da belirtildiği gibi 9 x 10.54 mm ölçülerindedir. Oluşturulan mermi çekirdeği modelleri Şekil 1(a, b, c) 'de görselleştirilmiştir.



Şekil 1. (a, b, c). a. Mermi çekirdeği, b. kanal yapılı mermi çekirdeği, c. çukur yapılı mermi çekirdeği (a. Bullet, b. riblet formed bullet, c. dimple formed bullet)

Oluşturulan mermi çekirdek modelleri etrafındaki hava akışının aerodinamik davranışlar üzerine etkisini incelemek üzere dış akış gövde modeli ağ yapısı Ansys Meshing yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışma sonuçlarının ağ bağımsızlığı Ansys Fluent yazılımında

Çizelge 1.'de verilen sınır şartları altında gerçekleştirilen analiz süreçleri ile belirlenmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Çizelge 1. Nümerik analiz metot ve sınır şartları (Numerical analysis method and boundary conditions)

Çözücü	Yoğunluk esaslı, kararlı						
Formülasyon düzeni	Örtük işlev, birleşik çözücü						
Akış modeli	Spalart Allmaras türbülans model						
Akışkan, Viskoz model	Hava, ideal gaz, Sutherland kanunu						
Yakınsama kriteri	10^{-5}						
Yer çekimi ivmesi (m/s^2)	9,81						
Mach Sayısı	1,2	1	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2
Sıcaklık (K)	300						
Basınç (Pa)	101.325 (Referans basınç =0)						

Analizler sonucu ulaşılan ortalama kayma geriliminde meydana gelen ağ yapı hücre sayısına bağlı sapma değeri ve ağ kalite parametreleri Çizelge 2.'de Mach sayısının 1,2 olduğu durum için belirlenmiş ve verilmiştir.

Çalışma ile üç farklı mermi çekirdeği modeli için gerçekleştirilen analiz çalışmaları neticesinde elde edilen aerodinamik parametreler hız, kayma gerilmesi, sürüklenme katsayısı ve kuvveti değerleri üzerine

Çizelge 2. Ağ bağımsızlık çalışması (Mesh independency study)

Ağ hücre sayısı	Kayma gerilimi (Pa)	Sapma değeri (%)	Skewness parametresi	Orthogonal quality parametresi
4.273.657	348,2		0,598	0,896
2.717.682	345,6	0,75	0,599	0,894
1.240.262	336,7	2,57	0,604	0,887
665.611	317,5	5,7	0,607	0,882

Çizelge 2.'de azalan hücre sayısı ile kayma gerilimi ortalama değerlerindeki sapma miktarı karşılaştırılmıştır. Değerler incelendiğinde 2.717.682 hücre sayısına sahip model üzerine uygulanan kayma gerilimi, 4.273.657 hücreye sahip model üzerindeki kayma gerilimi değeri ile karşılaştırıldığında %0,75'lik bir sapma değeri ile yakın sonuç vermektedir. Değerlerdeki yüzdesel sapmanın %5 ve altında olması durumunda ağ boyutundan bağımsız yaklaşık sonuçlara ulaşılabileceği kabulü literatürde [16], [17] ve [18] numaralı çalışmalarda belirtilmiştir. Bu bağlamda elde edilen sapma oranı, ağ kalite parametreleri, analiz süre ve maliyeti göz önünde bulundurularak analiz çalışmalarında 2.717.682 hücre sayısına sahip modelin kullanımının yeterli ve uygun olduğu kabul edilmiştir. Ağ kalite parametreleri literatürde [19] numaralı dokümanda Şekil 2'deki gibi tanımlanmıştır.

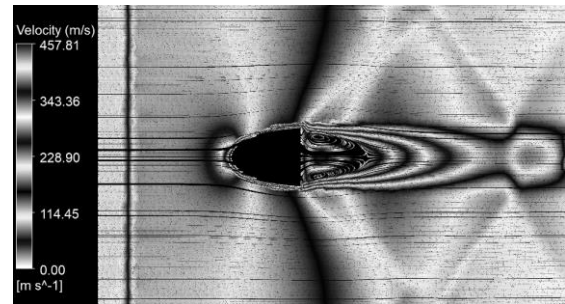
Skewness mesh metrics spectrum					
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum					
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

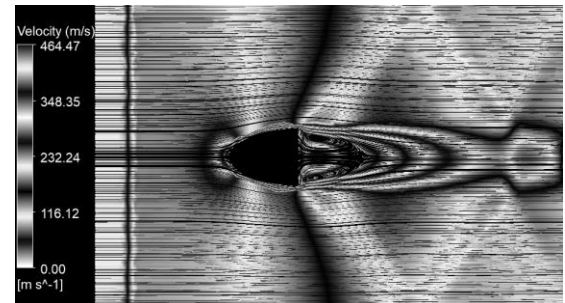
Şekil 2. Ağ kalite parametreleri [20] (Mesh quality parameters [20])

Şekil 2'de verilen ağ kalite parametreleri değerlendirildiğinde çalışma yapılan modelin kalite parametrelerinin de yeterli olduğu kabul edilmiştir.

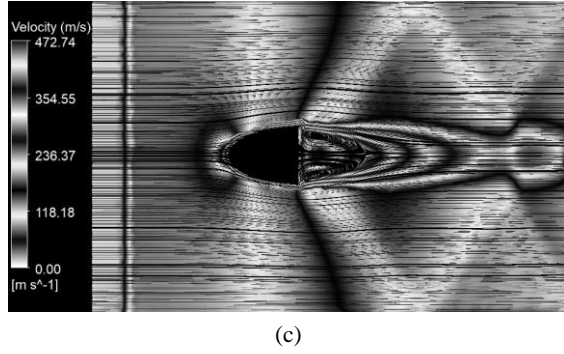
geometrinin etkisi çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Bu bağlamda mermi çekirdeği etrafında oluşan hız dağılımı Mach sayısının 1,2 değeri için Şekil 3(a, b, c)'de görselleştirilmiştir.



(a)

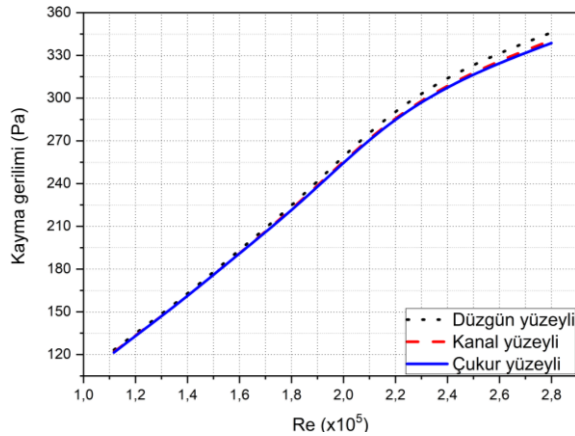


(b)



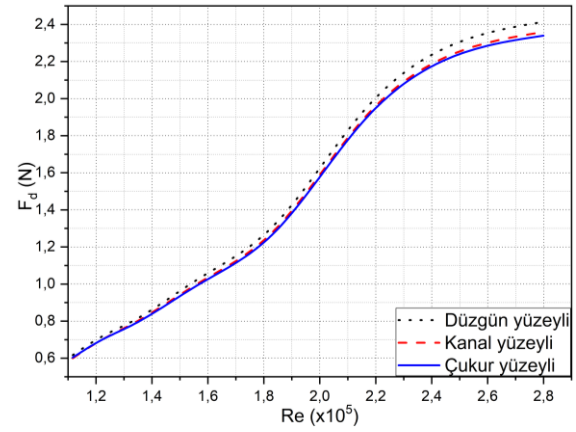
Şekil 3. (a, b, c). a. Mermi çekirdeği, b. kanal yapılı mermi çekirdeği, c. çukur yapılı mermi çekirdeği için hız görseli (Velocity visual for a. bullet, b. riblet formed bullet, c. dimple formed bullet)

Şekil 3(a, b, c)'te görüldüğü üzere düzgün yüzeye sahip mermi çekirdeği etrafında oluşan hava hızı dağılımı ortalamaları değerlendirildiğinde kanal yapılı yüzeye sahip mermi çekirdeği için hızda %1,26, çukur yapılı yüzeye sahip mermi çekirdeği için ise %3,14 oranında artış sağlandığı belirlenmiştir. Kanal ve çukur formu yüzeye sahip geometriler etrafında oluşan akış alanları için hızın değişimini inceleyen referans [20] ve [21]'de yüzeylere oluşturulan kanal yapı ve çukur yapının yüzey etrafındaki hava akışını olumlu yönde etkilediğini ve hız dağılımında artış gözlemlendiği değerlendirilmiştir. Mermi çekirdek modelleri için yüzey kayma gerilimi ortalama değerlerindeki değişim Şekil 4'de görselleştirilmiştir.

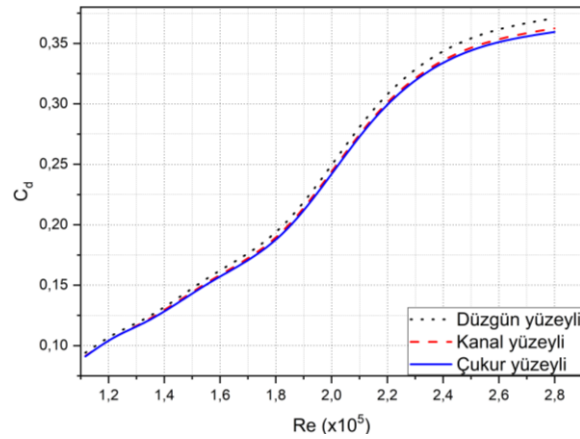


Şekil 4. Yüzey formunun kayma gerilimi üzerine etkisi görseli (Visual of effect of surface form on shear stress)

Şekil 4'te görüldüğü üzere kayma gerilimi mermi modeli üzerine oluşturulan kanal yapı etkisi ile %1,32 azalırken, çukurlu yüzey etkisi ile azalış miktarı %1,68 düzeyinde hesaplanmıştır. Kayma geriliminde meydana gelen azalma referans [22], [23], [24]'de kanallı ve çukurlu yüzey formuna sahip gövdeler etrafındaki akışkan akışı için incelenmiş ve kayma geriliminin hem kanal hem de çukur yapı formu yüzeylerde azalma eğilimi gösterdiği belirtilmiştir. Modeller üzerinde oluşan sürüklenme kuvveti ve katsayısı değerleri Şekil 5(a, b)'de sunulmuştur.



(a)



(b)

Şekil 5(a, b). Yüzey formunun (a) sürüklenme kuvveti, (b) sürüklenme katsayısı üzerine etkisi görseli (Visual of effect of surface form on (a) drag force, (b) drag coefficient)

Mermi model üzerine oluşturulan kanal ve çukur yapı yüzey formu ile sürüklenme kuvveti ve katsayı değerlerinde azalma sağlandığı belirlenmiştir. Sürüklenme kuvveti kanal yapı etkisi ile %2,25 azalırken, çukur yapı %2,92 azalış sağlamıştır. Elde edilen veriler referans [25]'de belirtilen türbülans akış modeli için kanallı yapının yüzey sürüklenme katsayısı değerini %7 düzeyinde azalttığı tespiti ile örtüşmektedir. Yine bir diğer referans [26]'de belirtilen türbülans sıkıştırılabilir akış modeli için yüzey sürtünmesinin oluşturulan çukur yüzey formu etkisiyle %12 düzeyinde azaldığı ifade edilmiştir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Katı gövdeler etrafındaki yüzey akışını konu edinen çalışmalar mühendislik uygulama alanının önemli konuları arasındadır. Taşıt gövdeleri etrafındaki akış hareketleri başta olmak üzere yapılar etrafındaki hava hareketlerinden, reklam panolarının tasarımı, yüzücülere ait özel kıyafetlere kadar daha birçok alanda yoğun şekilde akışkan dinamik davranışlarını anlamak ve dinamik akış özelliklerine müdahale etmek konusunda araştırmalara önem verilmekte ve yoğun şekilde çalışma ihtiyacı duyulmaktadır. Bu çalışmada, silah sistemlerinin

gelişim sürecine katkı sunmak amacıyla, mermi geometriler üzerinde gerçekleştirilebilecek iyileştirmelerin, mermi menzil ve hedef stabilizasyonuna sunacağı katkı araştırılmıştır. Bu amaçla ANSYS Design Modeler yazılımı ile oluşturulan 9 mm çapındaki parabolik tip mermi çekirdek modeli üzerine oluşturulan kanal yapı ve çukur yapının, model etrafında oluşan hava hareketliliği dinamik davranışları üzerine etkisi Fluent yazılımı kullanılarak analizlenmiştir. Elde edilen sonuçlar hem kanal yapının hem de çukur yapının mermi geometri üzerine oluşan sürüklenme kuvveti ve kayma gerilimini azalttığını, bunun yanında hava akış hızını artırdığını göstermiştir. Sonuçta mermi çekirdeği menzilin artmasının sağlanabileceği öngörüsü oluşmuştur.

SEMBOLLER ve KISALTMALAR (SYMBOLS and ABBREVIATIONS)

C_{b2} , $\sigma_{\bar{v}}$, C_{b1} , κ , C_{v1} , $C_{\omega2}$, $C_{\omega3}$: sabite değerler

c_d : Sürüklenme katsayısı

d : katı yüzeyden uzaklık

F_d : Sürüklenme kuvveti

f_{ω} , f_{v1} , f_{v2} , χ , g , r : model parametreleri

G_v : türbülans viskozite üretim değeri

S : deformasyon tensörünün skaler değeri

S_v : kaynak terim

t : zaman

U : hız

\bar{v} : kinematik viskozite

Y_v : türbülans viskozite yıkım değeri

μ : dinamik viskozite

ρ : yoğunluk

Re : Reynolds sayısı

Ma : Mach sayısı

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Thakur V., Yadav T. and Rajiv B., "Drag optimization of bluff bodies using CFD for aerodynamic applications", *Int. J. Comput Eng. Res.*, 7(4): 25–32, (2017).
- [2] Sahoo S. and Laha M.K., "Coefficient of drag and trajectory simulation of 130 mm supersonic artillery shell with recovery plug or fuze", *Def. Sci. J.*, 64(6): 502–508, (2014).
- [3] Litz B., "Aerodynamic drag modeling for ballistics part 1 aerodynamic drag 101", *Applied Ballistics*, 1: 1–13, (2016).
- [4] Gemba K., "Shape effects on drag", *NASA*, 90840: 2–5, (2007).<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/shaped.html> (erişim tarihi: 11.01.2020)
- [5] Lorite-Diez M., Jiménez-González J.I., Gutiérrez-Montes C. and Martínez-Bazán C., "Drag reduction of slender blunt-based bodies using optimized rear cavities", *J. Fluids Struct.*, 74: 158–77, (2017).
- [6] Khan T.H. and Saha S., "Numerical Simulation and aerodynamic characteristic analysis of a paraboloid-tip bullet", *4th Global Engineering, Science and Technology Conference*, Bangladesh, 1–8, (2013).
- [7] Bixler G.D. and Bhushan B., "Fluid drag reduction with shark-skin riblet inspired microstructured surfaces", *Adv. Funct. Mater.*, 23(36): 4507–4528, (2013).
- [8] Choi J., Jeon W.P. and Choi H., "Mechanism of drag reduction by dimples on a sphere", *Phys. Fluids*, 18(4): 041702, (2006).
- [9] Lim H.C. and Lee S.J., "PIV measurements of near wake behind a U-grooved cylinder", *J. Fluids. Struct.*, 18(1): 119–130, (2003).
- [10] Taheri A., "On the hydrodynamic effects of humpback whale's ventral pleats", *Am. J. Fluid Dyn.* 8(2): 47–62, (2018).
- [11] Bogdanović-Jovanović J.B., Stamenković Ž.M. and Kocić M.M., "Experimental and numerical investigation of flow around a sphere with dimples for various flow regimes", *Therm. Sci.*, 16(4): 1013–1026, (2012).
- [12] Stanly R., Sagaram B.S., Suneesh S.S. and Kumar S.S.V., "Effect of passive flow controlling dimples on drag reduction and improved fuel efficiency", *20th Australasian Fluid Mechanics Conference*, Australia, 2–4, (2016).
- [13] Chowdhury H., Loganathan B., Wang Y., Mustary I. and Alam F., "A study of dimple characteristics on golf ball drag", *Procedia Eng.*, 147: 87–91, (2016).
- [14] Muruganatham V.R. and Babin T., "Numerical investigation of hybrid blend design target bullets", *Matec Web of Conferences*, 172: 4–7, (2018).
- [15] El Maani R., Elouardi S., Radi B. and El Hami A., "Study of the turbulence models over an aircraft wing", *Incert Fiabilité Des Systèmes Multiphysiques*, 2(2): 1–11, (2018).
- [16] Rakowitz M., "Grid refinement study with a UHCA wing-body configuration using richardson extrapolation and grid convergence index GCI", *New Results in Numerical and Experimental Fluid Mechanics III*, Springer, Berlin, 77: 97-303, (2002).
- [17] Ali M.S.M., Doolan C.J. and Wheatley V., "An assessment method for grid convergence of two-dimensional direct numerical simulation of flow around a square cylinder at a low reynolds number", *Proc Seventh Int Conf CFD Miner Process Ind*, Australia, 1-6, (2009).
- [18] Yamagata T. and Hayase T., "Grid convergence property of three-dimensional measurement-integrated simulation for unsteady flow behind a square cylinder with karman vortex street", *J. Flow Control Meas. Vis.*, 4: 125–142, (2016).
- [19] Fatchurrohman N. and Chia S.T., "Performance of hybrid nano-micro reinforced mg metal matrix composites brake calliper: simulation approach", *IOP Conf. Ser. : Mater. Sci. Eng.*, 257: 012060, (2017).
- [20] Sundaram S., Viswanath P.R. and Rudrakumar S., "Viscous drag reduction using riblets on NACA 0012 airfoil to moderate incidence", *AIAA J.*, 34(4): 676–682, (1996).

- [21] Choi J., Jeon W.P. and Choi H., "Mechanism of drag reduction by dimples on a sphere", *Phys. Fluids*, 18(4): 16–19, (2006).
- [22] Lee S.J. and Choi Y.S., "Decrement of spanwise vortices by a drag-reducing riblet surface", *J. Turbul.*, 9: 1–15, (2008).
- [23] Viswanath P.R., "Aircraft viscous drag reduction using riblets", *Prog. Aerosp. Sci.*, 38(6-7): 571–600, (2002).
- [24] Lienhart H., Breuer M. and Köksoy C., "Drag reduction by dimples? - A complementary experimental/numerical investigation", *Int. J. Heat Fluid Flow*, 29(3): 783–791, (2008).
- [25] Duan L. and Choudhari M.M., "Effects of riblets on skin friction and heat transfer in high-speed turbulent boundary layers", *50th AIAA Aerosp. Sci. Meet. Incl. New Horizons Forum Aerosp. Expo.*, Nashville, 1-17, (2012).
- [26] Sun Z.S., Ren Y.X. and Larricq C., "Drag reduction of compressible wall turbulence with active dimples", *Sci. China Physics Mech. Astron.*, 54(2): 329-337, (2011).