

Üçgen ve Yüzgeç Kanat Girdap Üreteçlere Sahip bir Binek Aracın Aerodinamik İncelenmesi

Onur YEMENİCİ^{1*}, Halit KASAP²

¹Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa

²ÜÇEL Kauçuk Taşıt Araçları Otomotiv Yedek Parça San. Tic. A.Ş., Bursa

¹<https://orcid.org/0000-0003-0011-8343>

²<https://orcid.org/0000-0002-4523-3006>

*Sorumlu yazar: oseckin@uludag.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 13.11.2022

Kabul tarihi:05.06.2023

Online Yayınlanma: 20.12.2023

Anahtar Kelimeler:

Binek araç

Sürüklenme katsayısı

Kaldırma katsayısı

Girdap üretici

ÖZ

Bu çalışmada 1:5 ölçekli bir binek araç üzerinden akışta aerodinamik karakteristikler farklı girdap üreteçlerinin etkisi altında sayısal olarak incelenmiş ve sonuçlar girdap üretici kullanılmamış durumdaki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Aerodinamik sürüklenme direncini iyileştirmek için üçgen ve yüzgeç kanat girdap üreteçler kullanılmış ve analizlerde hava hızı 100 km/h olarak seçilmiştir. 8 adet girdap üretici, aracın arkasındaki akış ayrılma noktasının 15 mm ilerisindeki yukarı akışına 100 mm aralıklarla yerleştirilmiştir. Araç tasarımı ve akış alanının çözümü sırasıyla CATIA V5R21 ve ANSYS programı ile yapılmıştır. Analizlerde düzeltilmiş k-ε türbülans modeli ile geliştirilmiş duvar yaklaşımı birlikte kullanılmıştır. Sonuçlar araç arkasındaki akış alanının ve aerodinamik karakteristiklerin girdap üreteçlerinin varlığından ve yapısından etkilendiğini göstermiştir. Kaldırma katsayısındaki maksimum iyileşme üçgen kanat girdap üreticinin kullanıldığı modelde elde edilirken, sürüklenme katsayısı için yüzgeç kanat girdap üreticinin kullanıldığı modelde elde edilmiştir ve bu değerler sırası ile %3,31 ve %2,62'dir.

Investigation of Aerodynamic of a Passenger Car with Triangular and Fin Wing Vortex Generators

Research Article

Article History:

Received: 13.11.2022

Accepted: 05.06.2023

Published online: 20.12.2023

Keywords:

Passenger car

Drag coefficient

Lift coefficient

Vortex generator

ABSTRACT

In this study, aerodynamics characteristics on a 1:5 scale passenger car were studied under the effect of different vortex generators numerically and the results were compared with the results without the vortex generators. Triangle and fin wing vortex generators were used to improve aerodynamic drag resistance and the air velocity was chosen as 100 km/h in the analysis. 8 vortex generators are located at 100 mm intervals upstream of the flow separation point at the back of the vehicle roof at a distance of 15 mm. The vehicle design and the solution of the flow field were made with CATIA V5R21 and ANSYS program, respectively. The realizable k-ε turbulence model was used with the enhanced wall treatment in the analyses. The results showed that the flow fields and aerodynamic characteristics behind the vehicle were affected by the presence and structure of vortex generators. The maximum improvement in the lift coefficient was obtained in the model using the triangular wing vortex generator, the drag coefficient was obtained in the model using the fin wing vortex generator and these values were 3,31% and 2,62%, respectively.

Giriş

Araç aerodinamiği yakıt tüketimini, konforu ve yol tutuşunu doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden biri olduğundan otomobil endüstrisi için çok önemlidir. Ters akış ve girdap bölgeleri aracın aerodinamik karakteristiklerine olumsuz etki ettiğinden, aracın üzerindeki akış ayrılmalarını geciktirip geniş girdap bölgelerinin oluşumunu engellemek için girdap üreteçleri kullanılmaktadır.

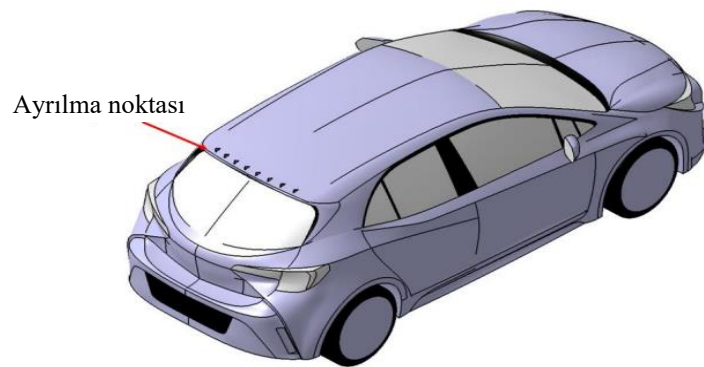
Arka kısmı kavisli Ahmed modeli üzerinde girdap üreteçleri kullanılan bir çalışma Beaudoin ve Aider (2008) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada üreteçlerin arasındaki uzaklık, yüzey ile yaptığı açı, akış hızı, kavisli yüzeydeki yeri, aralarındaki uzaklık ve diziliş şekilleri gibi birçok parametrenin etkisi incelenmiş ve sürüklenme direncinde maksimum %12 azalma elde edilmiştir. Aynı çalışmada motorlu girdap üreteçler kullanılması ise sürüklenme katsayısında %14 azalmaya neden olmuştur. Aider ve ark. (2010), 20-40 m/s aralığındaki serbest akış hızlarında klasik Ahmed modelinin arkasına bulunan farklı pozisyondaki kanatçıkların tesirini değerlendirmiştir. Sürüklenme kuvvetindeki en fazla azalma kanatçıkların arka eğimin üstüne (%15) ve yan kenarlarına (%17,6) konumlandırılması ile elde edilmiştir. Huminic ve Huminic (2020) yaptıkları çalışmada eliptik ve dairesel gövde altı difüzörlere sahip küt bir cismin aerodinamik değerlendirmesini yapmışlardır. Bu analizde difüzörlerin açısı ve uzunluğu, hatchback araçlar için uygun olan aralıklarda değiştirilmiştir. Kavisli difüzörlerin kullanılması yere basma kuvvetinde %20' den fazla artışa neden olmuş ve bu difüzörler düzlem difüzörlerle kıyaslandığında daha küçük sürüklenme değerlerine neden olmuştur. Sonuç olarak aerodinamik açıdan en uygun difüzörün kavisli kısa difüzörlerin olduğu tespit edilmiştir. Buscariolo ve ark. (2021) gövde altı difüzörlerine sahip klasik bir Ahmed modelinin yere basma kuvvetini incelemiştir. 0° ve 25° eğimli arka üst kısmı için iki tip konfigürasyon kullanılmıştır. Modelin difüzör açısının 30° ve arka üst eğiminin 0° olduğu durumda en yüksek negatif kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri elde edilmiştir. Arka üst eğim 25° ve difüzör açısı 20° olduğunda maksimum negatif kaldırma kuvveti gözlemlenirken, maksimum sürüklenme kuvveti 30° difüzör açısında elde edilmiştir. Palanivendhan ve ark. (2021) girdap üreteçlerine sahip sedan bir araç üzerindeki aerodinamik direnci, üreteçlerin hücum açıları ve sayılarının etkisinde araştırmışlardır. Sürüklenme katsayısı değerlerinde %12 ile %15 arasında bir azalma elde etmiştir. Verma ve ark. (2021) binek bir aracın arkasına belirli yükseklikte yerleştirilen dudak şeklindeki rüzgarlık açısının sürüklenme ve kaldırma kuvvetine etkisini incelemiştir. Rüzgarlık açısının artması ile sürüklenme kuvveti azalmış ve hem sürüklenme hem de yere basma kuvveti açısından en uygun açının 6° ile 10° arasında olduğu tespit edilmiştir. Bruneau ve ark. (2014) Ahmed modelinin arka kısmındaki akışı kontrol ederek aerodinamik direncin azaltılması ile ilgili sayısal bir çalışma yapmış ve sürüklenme katsayısında %31'lik bir azalma kaydetmiştir. Selvi Rajan ve ark. (2013) iki farklı tip girdap üreticisine sahip 1:10 ölçekli ahşap bir araç modelini girdap üreteçlerinin konumlarına bağlı olarak incelemiştir. Sonuçlar girdap üreteçlerin tavanın ön kısmına yerleştirildiğinde direnç katsayısının önemli derecede azaldığını göstermiş ve sürüklenme katsayısında

%22 civarında düşüş elde edilmiştir. Farklı biçimlerdeki girdap üreteçlere sahip binek bir otomobilin sürtünme direnci Subbiah ve ark. (2020) tarafından sayısal olarak incelemiştir. Girdap üreteçlerin varlığının sürüklenme kuvvetlerini azalttığı ve tasarımlarının da bu kuvvetler üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Koike ve ark. (2004) araçların arka kısımdaki ayrılmayı kontrol etmek amacıyla ayrılma noktasının hemen üstüne üçgen kanat ve yumru şekillerinde girdap üreteçleri ekleyerek deneyler gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar üçgen kanat şeklindeki üreteçlerin yumru şeklindekilerden daha verimli olduğunu göstermiştir. Gillieron ve Kourta (2010) basit bir araç modelinin ön ve arkasına çeşitli açılarda dikey ayırıcılar kullanarak sürüklenme kuvvetini azaltmayı amaçlayan bir çalışma yapmışlardır. Dikey plakaların modelin ön kısmında sıfır eğrilik açısı ile konumlandırıldığında yaklaşık %28'lik bir azalma elde edildiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada, 1:5 ölçekli bir binek aracın arka kısmında gerçekleşen akış ayrılmasının yukarı akımına iki farklı tip girdap üreteçleri konumlandırılarak modelin aerodinamik analizi sayısal olarak yapılmış ve sonuçlar girdap üretici kullanılmamış durumdaki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışmada 8' er adet üçgen ve yüzgeç kanat girdap üreteçler kullanılırken, analizler düzeltilmiş k-ε türbülans modeli ile hava hızı 100 km/h için yapılmıştır.

Materyal ve Metot

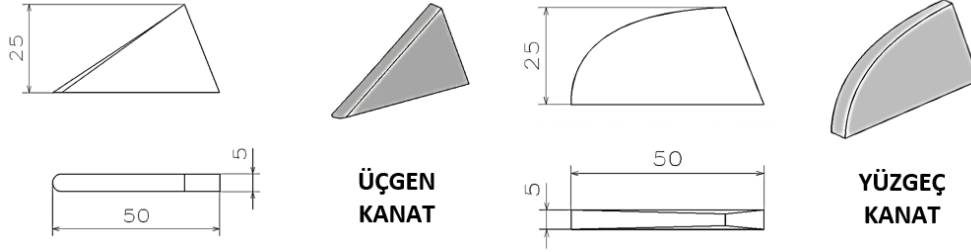
Bu bölümde sayısal modelleme kurulumu, araç ve girdap üreteçlerinin geometrisi, sınır şartları, hesaplama alanı boyutları, ağ yapıları ve korunum denklemleri açıklanmıştır. Araç geometrisi ve hesaplama alanı, CATIA V5R21 programı kullanılarak modellenmiştir. Modelin genel hatları üç boyutlu eğrilerle oluşturulduktan sonra yüzey modellemeyle aracın dış formları tasarlanarak katı model elde edilmiştir. Oluşturulan modelin izometrik görünüşü ve kullanılan girdap üreteçlerin araç üzerindeki konfigürasyonu Şekil 1' de verilmiştir.



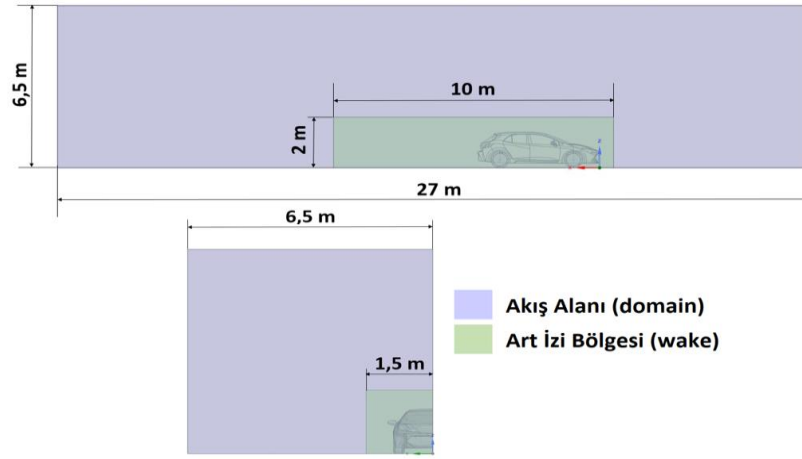
Şekil 1. Modelin izometrik görünüşü ve girdap üreteçlerin araç üzerindeki konfigürasyonu

Şekil 2' de aerodinamik sürüklenme direncini iyileştirmek için tasarlanan üçgen ve yüzgeç kanat girdap üreteçler gösterilirken, çözüm için oluşturulan akış alanı ve boyutları Şekil 3' te verilmiştir.

Girdap üreteçler, modelin arkasındaki akış ayrılma noktasının 15 mm uzaklıktaki yukarı akışına 100 mm aralıklarla 8 adet olacak şekilde konumlandırılmıştır.

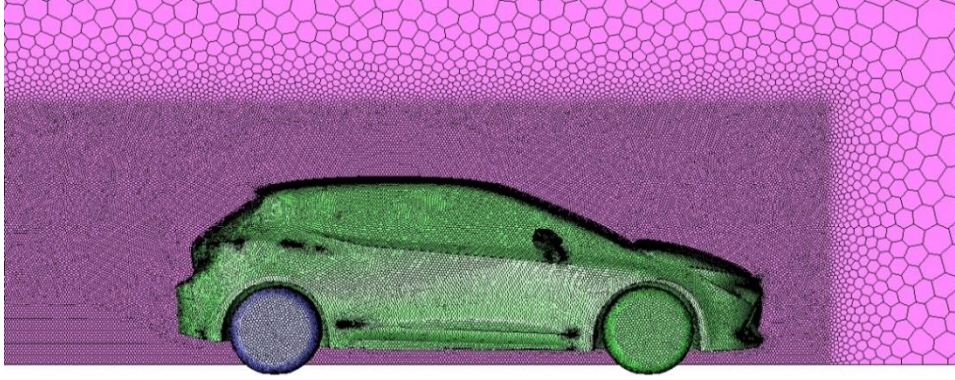


Şekil 2. Üçgen ve yüzgeç kanat girdap üreteçler



Şekil 3. Art izi ve akış alanı bölgesi

Araç yüzeyine yakın bölge ve art izi bölgesinin doğru modellenmesi sonuçların güvenilirliği için çok önemlidir. Bu nedenle çözüm alanında ağ oluşturulurken, araç yakınındaki bölge ve art izi bölgesi için hacim kaynağı kullanılmış ve bu bölgelerdeki hücre sayıları artırılmıştır. Tekerlekler, tekerlek ve araç gövdesinin yer ile temaslı bölgelerinde hücre sayıları artırılmış ve duvar yakını bölgede sınır tabaka katmanları kullanılmıştır. Şekil 4’de çözüm alanının ağ yapısı verilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerin doğruluğu için girdap üreteçsiz model üzerinde 1975128, 3464701 ve 4638759 hücre sayısı ile ağdan bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Ağ bağımsızlığı hesaplamaları ortalama sürüklenme katsayılarına bağlı olarak yapılmıştır. En kaba, orta ve en ince ızgara için ortalama sürüklenme katsayıları değerleri 0.355, 0.313 ve 0.312 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak 3464701 hücre sayısının doğruluk açısından yeterli olduğu belirlenmiş ve analizler orta ızgara ile gerçekleştirilmiştir. Akış alanında oluşturulan 3464701 karışık hücre ve 12442656 yüzeyden oluşan ağ yapısı daha çok poligonal hücrelerden meydana gelmektedir. Elde edilen ağ yapısının çarpıklık oranı 0.71 ve minimum ortogonal kalitesi 0.31 olarak çok iyi seviyededir. Havanın giriş hızı 100 km/h ve çıkış atmosferik ortam olarak ele alınırken, aracın tekerlekleri dönel hareketli sınır şartı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4. Akış alanı ağ yapısı

Akış alanının çözümü ve aerodinamik analizler ANSYS FLUENT programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu programda basınç ve yoğunluk tabanlı iki ana çözücü vardır ve çalışmada gerçekleştirilen analizlerde basınç tabanlı çözücü seçilmiştir. Hız-basınç birleşiminde SIMPLE algoritması kullanılırken, denklemlerin çözümü ikinci dereceden ayrıklaştırma yöntemi ile yapılmıştır. Sıkıştırılamaz, sürekli bir akış için süreklilik ve momentum denklemleri Eşitlik (1) ve (2)' de verilmiştir.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \rho \frac{\partial}{\partial x_j} (-\overline{u'_i u'_j}) \quad (2)$$

Reynolds gerilmesi $-\overline{u'_i u'_j}$ terimi ise Eşitlik (3) ile verilmiştir.

$$-\overline{u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

Burada μ_t türbülans viskozitesini ifade etmektedir. Analizler düzeltilmiş (realizable) k-ε türbülans modeli ile yapılmıştır. k ve ε sırasıyla türbülans kinetik enerji ve yayılım oranını ifade etmektedir. Araç dışı akışların aerodinamik modellenmesinde düzeltilmiş k-ε türbülans modeli yaygın olarak kullanılmakta ve deneysel sonuçlara daha yakın sonuçlar vermektedir. Literatürde k-ε türbülans modelinin Menter-Lechner ya da geliştirilmiş duvar yaklaşımıyla kullanılması önerilmektedir. Tüm ε-denklemleri tabanlı modellerde geliştirilmiş duvar yaklaşımı (EWT) y^+ -duyarsız bir formülasyon sunmaktadır. Bu çalışmada da düzeltilmiş k-ε türbülans modeli ile geliştirilmiş duvar yaklaşımı ile birlikte kullanılmış ve yakınsama kriteri 1×10^{-6} olarak alınmıştır. Eşitlik (4) ve (5)' te transport denklemleri verilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \rho \frac{\partial}{\partial x_i} (k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + P_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\epsilon) + \rho \frac{\partial}{\partial x_i}(\epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\epsilon - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu \epsilon}} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k} C_{3\epsilon} P_b + S_\epsilon \quad (5)$$

Burada $C_1 = \max \left[0,43, \frac{\eta}{\eta+5} \right]$, $\eta = S \frac{k}{\epsilon}$, $S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$ and $S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right)$ olarak ifade edilmektedir. P_k ve P_b sırasıyla hız gradyanları ve kaldırma kuvvetinden kaynaklanan türbülans kinetik enerji üretimidir. Y_M türbülansın tüm yayılma hızına oranı olarak tanımlanır. $C_{1\epsilon}$, $C_{2\epsilon}$, σ_k ve σ_ϵ değerleri sırasıyla 1,44; 1,9; 1,0 ve 1,2'dir.

Sürüklenme ve kaldırma katsayısı sırasıyla Eşitlik (6) ve (7) ile ifade edilmektedir.

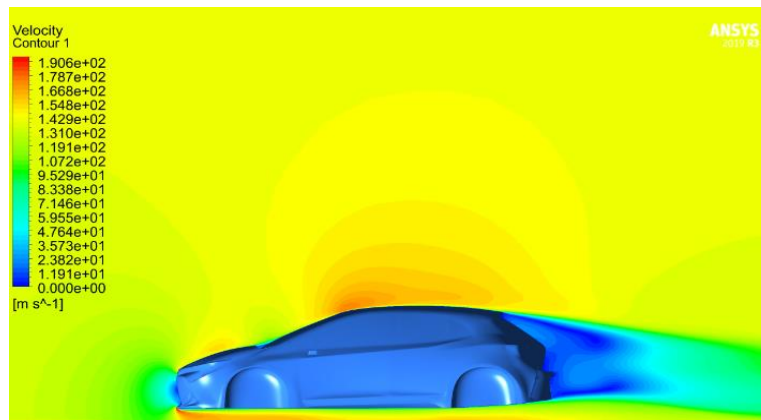
$$C_d = F_d / (0.5 \rho U_\infty^2 A) \quad (6)$$

$$C_l = F_l / (0.5 \rho U_\infty^2 A) \quad (7)$$

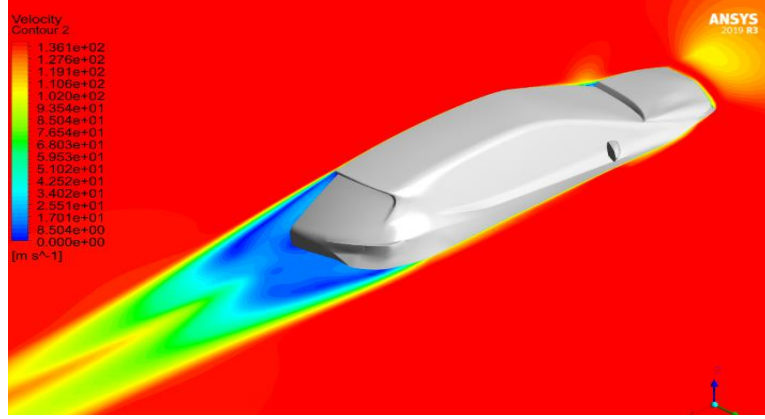
Burada F_d ve F_l sırasıyla araç üzerine etki eden toplam sürüklenme ve kaldırma kuvveti, ρ akışkanın yoğunluğu, U_∞ serbest akış hızı ve A aracın hava akışına dik kesit alanıdır.

Bulgular ve Tartışma

Analizler girdap üreteç kullanılmamış ve üçgen ve yüzgeç kanat girdap üreteçlerine sahip 1:5 ölçekli bir binek araç üzerinde 100 km/s akış hızında gerçekleştirilmiştir. Şekil 5' de girdap üreteçsiz modelin hız konturu simetri düzleminde verilirken, Şekil 6' da aynı modelin simetri ve $z=0,5h$ -xy düzlemlerinin kesiştirilmesi ile bulunan art izi bölgesindeki hız konturu verilmiştir. Aracın ön kısmı, aracın durma noktası olduğu için düşük hız değerlerine maruz kalmıştır. Tavan ve ön kaputun ortalarında akışın hızlandığı görülürken, maksimum hız tavanın ön kısmında elde edilmiştir. Aracın arka kısmında serbest akış hız değerlerinin altında hız değerleri elde edilmiştir. Art izi bölgesi olarak bilinen bu bölgedeki düşük hız değerleri aracın arka kısmında gerçekleşen akış ayrılması ve yeniden birleşme bölgeleri ile açıklanabilir.

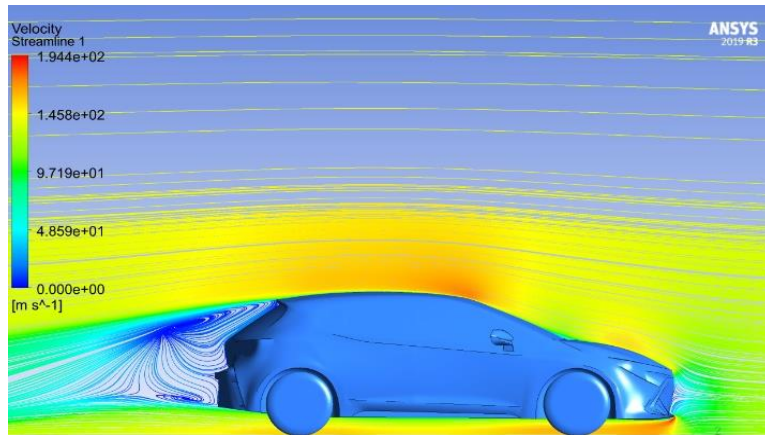


Şekil 5. Girdap üreteçsiz modelin hız konturu

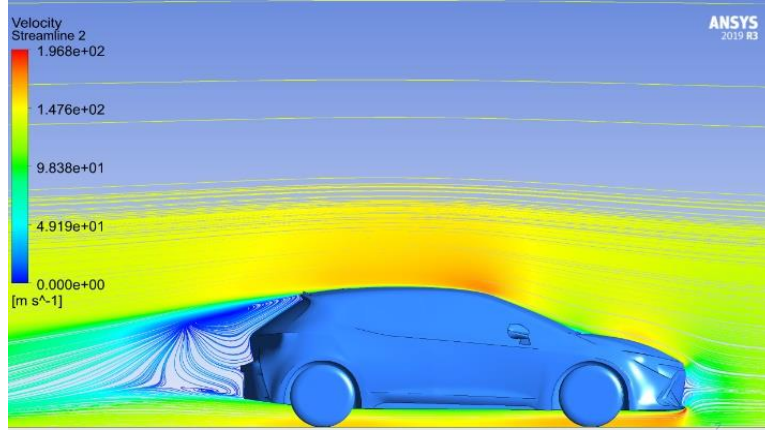


Şekil 6. Girdap üretçsiz modelin art izi bölgesindeki hız konturu

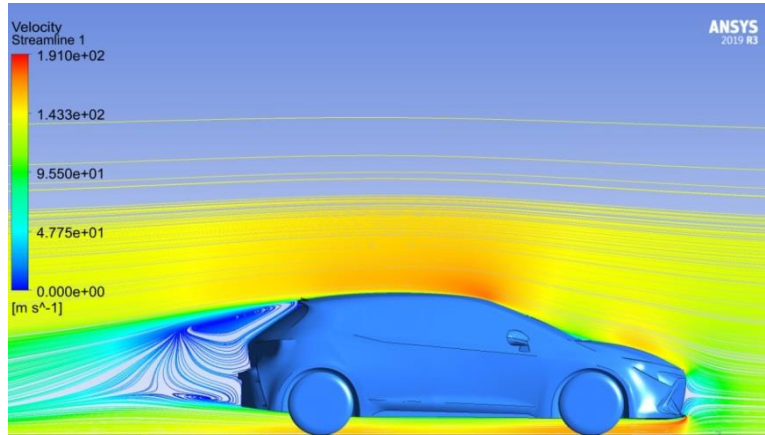
Girdap üretçsiz, üçgen girdap üretçli ve yüzgeç girdap üretçli modellerin simetri düzlemlerindeki akış çizgileri Şekil 7 (a-c)'da sırasıyla verilmiştir. Her üç modelde de hava aracın ön kısmına çarparak aracın tavan ve alt yüzeylerinden akmıştır. Aracın arka kısmında bagaj ve tampona yakın bölgede iki adet girdap oluşur. Daha sonra bu girdap bölgeleri birleşerek aracın art izi kısmında geniş bir dolaşım bölgesi oluşturmuştur. Aracın arkasında kısmında vortekslerden kaynaklanan düşük hızlı bölgeler elde edilmiş ve bu bölgeden uzaklaştıkça hız artmıştır. Aracın ön camı ile üst tavanının birleştiği yere yakın bölgede ve havanın çarptığı aracın ön tamponunun alt kenarında yüksek hızlar elde edilmiştir. Girdap üretçi kullanılmayan modelde aracın arkasında oluşan büyük girdap oluşumu aracın aerodinamiğine olumsuz etki etmektedir. Girdap üretçi kullanılan modellerde ise üretçlerin varlığı akış yapılarını etkileyerek, arka kısmında oluşan dolaşım bölgesindeki akış çizgileri ve büyüklüklerinde değişime neden olmuştur. Girdap üretçlerinin kullanılması ile araç üzerindeki akış ayrılması geciktirilerek büyük girdap oluşumlarının önüne geçilmiş ve daha küçük art izi bölgesi oluşmuştur. Girdap üretçleri akış yönünde girdaplar oluşturmuş, akış ayrılma noktasını daha ileri kaydırmış ve dolayısıyla ayrılma bölgesini küçültmüştür. Aracın arka kısmında oluşan minimum dolaşım bölgesinin uzunluğu yüzgeç kanat girdap üretçlerine sahip modelde elde edilirken, en büyük uzunluk değeri girdap üretçi kullanılmayan modelde elde edilmiştir.



a. Girdap üretçi kullanılmamış model



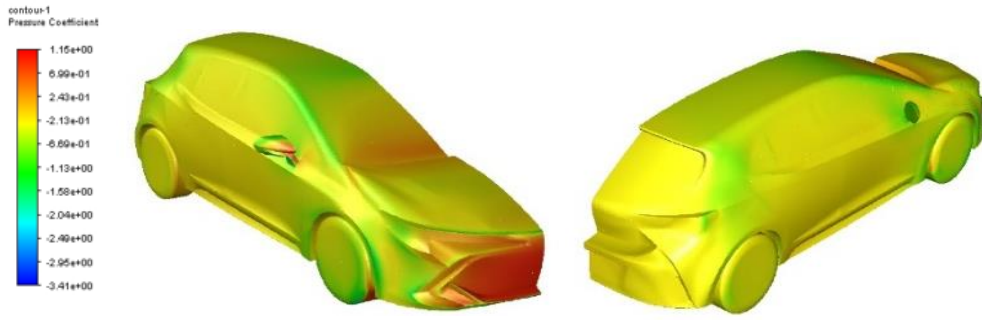
b. Üçgen kanat girdap üreteç kullanılmış model



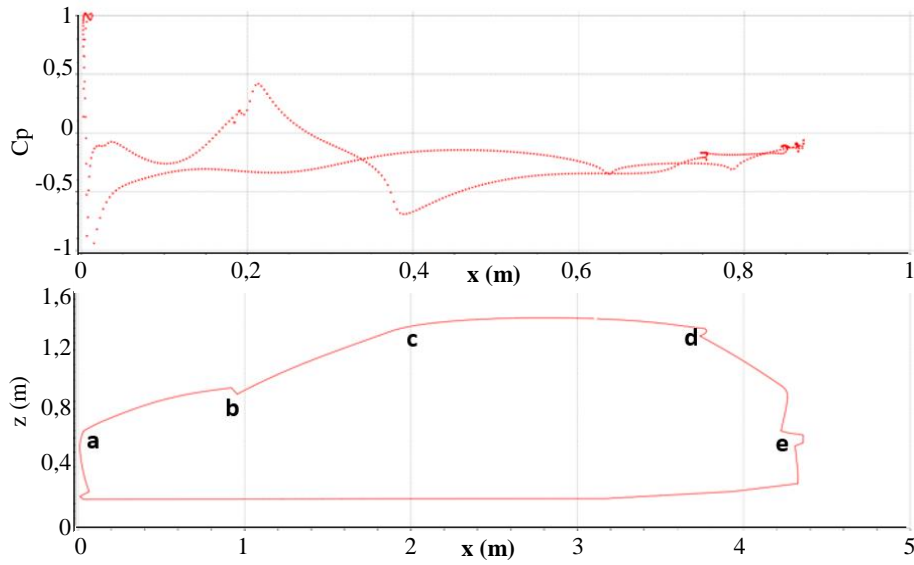
c. Yüzgeç kanat girdap üreteç kullanılmış model

Şekil 7. Çalışmada kullanılan tüm modellerin simetri düzlemlerindeki akış çizgileri

Şekil 8’ de girdap üreteç kullanılmamış model üzerindeki basınç katsayısı dağılımı izometrik olarak verilirken, Şekil 9’ da aynı modelin basınç katsayısı dağılımı simetri düzleminde verilmiştir. Elde edilen bu basınç dağılımı eğrileri Altınışık (2013) tarafından yapılan çalışmayla, aracın arka kısmında elde edilen veriler dışında, uyum göstermektedir. Modellerin arka bölgelerinde izlenen farklılığın nedeni bu çalışmada hatchback araç kullanılmasıdır. Aracın ön kısmında ızgaralıkların olduğu bölge, ön camın alt ve aynanın ön kısımlarında pozitif basınç yüksektir. Ön kaputun üst, tavan ve aracın arka bölgelerinin ise negatif basıncın etkisinde olduğu görülmektedir. Dikiz aynasının önü ve aracın ön bölgesi durma noktası olduğundan bu bölgelerde en yüksek pozitif basınç değerleri tespit edilmiştir. Kaputun ön kısmından başlayarak sileceklere kadar olan bölgede (ön camın alt bölgelerinde) basınçta yine bir artış gözlenmiştir. Tavanın ön kısmında, basınç negatif değerlere düşmüş ve tavanın arkasına doğru tekrar basınç artmıştır. Aracın arka kısmına doğru basıncın arttığı belirlenmiştir.

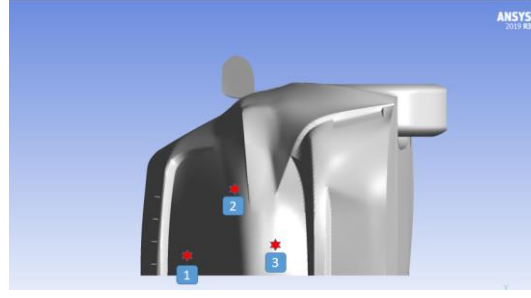


Şekil 8. Girdap üreteçsiz model üzerindeki C_p dağılımı



Şekil 9. Girdap üreteçsiz modelin basınç katsayısı dağılımı

Girdap üreteçsiz ve girdap üreteçli modellerin arka bölgesindeki basınç değerlerini kıyaslamak amacıyla oluşturulan 3 adet nokta Şekil 10'da gösterilmiş ve bu noktalara göre basınç değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Girdap üreteçlerin kullanılması sonucunda üçgen kanat girdap üreteçli modelin 3. noktası hariç tüm noktalarda basıncın arttığı gözlemlenmiştir. Modelin arkasındaki basıncın artması ile ön ve arka kısmında oluşan basınç farkı azalmış dolayısıyla daha küçük basınç direnci elde edilmiştir. En çok basınç artışı %5,89'luk değerle yüzgeç kanat girdap üreteç kullanılan modelin 1 numaralı noktasında gözlemlenmiştir.



Şekil 10. Aracın arka kısmında belirlenen noktalar

Tablo 1. Çalışmada kullanılan modellerin basınç değerleri [Pa]

	Nokta 1	Nokta 2	Nokta 3
GİRDAP ÜRETEÇSİZ	-2206,97	-2470,19	-1458,23
ÜÇGEN KANAT	-2173,23	-2433,05	-1467
YÜZGEÇ KANAT	-2084,13	-2354,17	-1389,33

Tablo 2’ de girdap üreteç kullanılan ve kullanılmayan modeller için sürüklenme ve kaldırma katsayılarının değerleri verilmiştir. Girdap üreteç kullanılmamış modelin kaldırma ve sürüklenme katsayısı sırasıyla 0,313 ve 1,000 olarak elde edilmiştir. Girdap üreteci kullanmanın temel amacı akış ayrılmasını kontrol ederek sürüklenme katsayısını düşürmektir. Girdap üreteçleri kullanılarak aracın arka kısmındaki basınç farkı azaltılmış ve dolayısıyla aracın sürüklenme katsayısı değerlerinde iyileşmeler elde edilmiştir. Ayrıca girdap üreteçlerin tasarımlarının da bu kuvvetler üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Minimum sürüklenme katsayısı yüzgeç kanat girdap üretecinin kullanıldığı modelde elde edilmiştir. Araç üzerinde yüzgeç kanat girdap üretecin kullanılması ile sürüklenme katsayısında %2,62 oranında bir iyileştirme elde edilmiştir. Kaldırma katsayısının en düşük değeri ise üçgen kanat girdap üreteç kullanılan modelde tespit edilmiştir. Girdap üreteç kullanılmayan model ile kıyaslandığında kaldırma katsayısında %3,31’ lik bir azalma sağlanmıştır.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan modellerin sürüklenme ve kaldırma katsayıları

MODEL	SÜRÜKLENME KATSAYISI C_d	KALDIRMA KATSAYISI C_l
GİRDAP ÜRETEÇSİZ	0,313	1,000
ÜÇGEN KANAT	0,309	0,967
YÜZGEÇ KANAT	0,305	0,979

Sonuç

Girdap üreteçsiz, üçgen girdap üretece ve yüzgeç girdap üretece sahip 1:5 ölçekli bir binek araç modellerinin aerodinamik analizleri sayısal olarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Tüm modellerde aracın ön kısmı ve art izi bölgesinde düşük hız değerleri elde edilirken, maksimum hız araç tavanının ön kısmında elde edilmiştir. Modellerin arka kısmında bagaj ve tampona yakın

bölgelerde iki adet girdap oluşmuş ve bu girdap bölgeleri birleşerek aracın art izi kısmında geniş bir dolaşım bölgesi oluşturmuştur. Dolaşım bölgesinin minimum uzunluğu yüzgeç kanat girdap üreteçlerine sahip modelde elde edilirken, en büyük uzunluk değeri girdap üreteç kullanılmayan modelde elde edilmiştir. Üçgen ve yüzgeç kanat girdap üreteçlerin kullanılması aracın art izi bölgesinin akış yapısında değişimlere neden olmuş ve bu değişimler sürüklenme ve kaldırma katsayılarını da etkilemiştir. Minimum sürüklenme katsayısı yüzgeç kanat girdap üretecin kullanıldığı modelde elde edilirken, maksimum değer girdap üreteç kullanılmamış modelde elde edilmiştir. Üçgen kanat girdap üretece sahip model üzerinden akış en düşük kaldırma katsayısına sahipken, girdap üreteç kullanılmayan model en yüksek kaldırmaya maruz kalmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye %50 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Aider JL., Beaudoin JF., Eduardo WJ., Eduardo J. Drag and lift reduction of a 3D bluff-body using active vortex generators. *Experiments in Fluids* 2010; 5: 771–789.
- Altınışık A. Binek araç modeli üzerindeki aerodinamik analizlerin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi. Doktora tezi, Uludağ Üniversitesi 2013.
- ANSYS Help.
- Beaudoin JF., Aider JL. Drag and lift reduction of a 3D bluff body using flaps. *Experiments in Fluids* 2008; 44(4): 491–501.
- Bruneau CH., Creusé E., Gilliéron P., Mortazavi I. Effect of the vortex dynamics on the drag coefficient of a square back Ahmed body: Application to the flow control. *European Journal of Mechanics, B/Fluids* 2014; 45: 1–11.
- Buscariolo FF., Assi GRS., Sherwin SJ. Computational study on an Ahmed Body equipped with simplified underbody diffuser. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 2021; 209(1): 104411.
- Gilliéron P., Kourta A. Aerodynamic drag reduction by vertical splitter plates. *Experiments in Fluids* 2010; 48(1): 1–16.
- Huminic A., Huminic G. Aerodynamics of curved underbody diffusers using CFD. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 2020; 205.
- Koike M., Nagayoshi T., Hamamoto N. Research on aerodynamic drag reduction by vortex generators, *Mitsubishi Motors Technical Review* 2004; 16.

- Palanivendhan M., Chandradass J., Bannaravuri PK., Philip J., Shubham K. Aerodynamic simulation of optimized vortex generators and rear spoiler for performance vehicles. *Materials Today: Proceedings* 2021; 45: 7228–7238.
- Selvi RS., Harikrishna P., Senthilkumar S., Parammasivam KM. Aerodynamic drag reduction on a sedan car by provision of vortex generators through wind tunnel studies. National Conference on wind tunnel testing, August 2013, Thiruvananthapuram.
- Subbiah G., Allaudeen AS., Janarthanam H., Mani P., Gnanamani S., Raja KSS., Raja TA. Computational investigation and design optimization of vortex generator for a sport utility vehicle using CFD. *AIP Conference Proceedings* 2020; 2311.
- Verma RP., Kumar Chaudhary N., Avikal S. Effect of direction of lip spoiler on the aerodynamic performance of a small passenger vehicle. *Materials Today: Proceedings* 2021; 46(20): 10301-10305.