

## Öndeki Aracın Akışına Maruz Kalan Otobüsün Üzerinde Oluşan Aerodinamik Etkinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Mustafa Özden\*<sup>1,2</sup>, Kemal Koca<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Rüzgâr Mühendisliği ve Aerodinamik Araştırma Grubu, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, 38039, Kayseri, Türkiye

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, Erciyes Üniversitesi, 38039, Kayseri, Türkiye

<sup>3</sup> Makine Mühendisliği Bölümü, Abdullah Gül Üniversitesi, 38080, Kayseri, Türkiye

(Alınış / Received: 22.12.2022, Kabul / Accepted: 01.03.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 02.05.2023)

### Anahtar Kelimeler

Otobüs konvoyu,  
Karşıdan esen rüzgâr,  
Sollama,  
HAD

**Öz:** Bu çalışmada, konvoy konumunda bulunan otobüslerin farklı hızlarda karşıdan esen rüzgâra maruz kaldıklarında aerodinamik özellikleri sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal girişim olarak ticari FloEFD yazılımının eğitim versiyonu kullanılmıştır. Sayısal simülasyon sonucunda hız, türbülanslı enerji dağılım konturları ve sürüklenme katsayısı ( $C_D$ ) grafiği elde edilmiştir. Akış görselleştirmeleri olarak, hız ve türbülanslı enerji dağılım konturları, karşıdan gelen rüzgârın ilk otobüsün ön kısmında daha yüksek basınca sahip olmasına neden olduğunu açıkça gösterdi. Ayrıca birinci otobüsün kenarlarında akış ayrılmaları ve girdap yapıları gözlemlenmiştir. Otobüs hızı arttıkça bu akış yapılarının etkileri ve boyutları artmıştır. Bir süre sonra birinci otobüse ait akış ayrımına neden olan girdapların sollamaya çalışan ikinci otobüse çarptığı görülmüştür. Akabinde,  $C_D$  grafiği açıkça göstermiştir ki, birinci otobüsün girdaplar tarafından indüklenen akış ayrımı, ikinci otobüsün birinci otobüsü geçmeye çalışırken sürüklenme katsayısının yaklaşık %3 artmasına neden olmuştur.

## Numerical Investigation of the Aerodynamic Effect on the Bus Exposed to the Flow of the Front Vehicle

### Keywords

Bus convoy,  
Headwind,  
Overtaking,  
CFD

### Abstract:

In this study, the aerodynamic characteristics of buses which were convoy position were numerically investigated at different speeds when they were exposed to headwind. As the numerical attempt, the commercial FloEFD software with education version was utilized. Velocity, turbulent energy dissipation contours as well as drag coefficient ( $C_D$ ) graph were provided as the result of numerical simulation. As the flow visualizations, velocity and turbulent energy dissipation contours clearly pointed out that headwind caused the front part of the first bus to have higher pressure. Additionally, flow separations and vortex structures were observed at the sides of the first bus. The effects and size of these flow structures increased when bus speed increased. After a while, it was observed that the vortices induced flow separation belonging to first bus hit the second bus which was trying to overtake. In what follows,  $C_D$  graph obviously indicated that the vortices induced flow separation of first bus caused the drag coefficient of the second bus to boost approximately 3% when it was trying to overtake the first bus.

\*İlgili Yazar, email: mustafaozden@erciyes.edu.tr

## 1. Giriş

Son yıllarda, karayolu trafiği yıllar içinde sürekli olarak artmaktadır. Örneğin, Ülke içinde yolcu taşımacılığının %95,2'si karayoluyla yapılmaktadır. Bu oran ABD'de %89 AB ülkelerinde ise %79 oranlarında seyretmektedir. Yük taşımacılığı alanında karayolu kullanım oranı ülkemizde %76,1 civarındadır. Bu oran ABD'de %69,5, AB ülkelerinde ise yaklaşık %45'tir [1]. Kirletici emisyonların etkinin baskın olmaya başlaması nedeniyle artan trafik talebi ve buna bağlı olarak ortaya çıkan çevre sorunu ile başa çıkmak için taşıt grubu kavramı uzun zamandır potansiyel bir çözüm olarak önerilmiştir [2]. Bu çalışmada incelenen araç grubu kavramı ile ilgili olarak, birkaç aracın düzenli bir şekilde koordineli bir şekilde hareket ettiği, önde gelen bir araca sahip olduğu ve eylemi diğer araçların takip ettiği eylemdir. Bu yüzden, bazen konvoy halinde seyahat eden araçlar olarak adlandırılan araç grubu kavramına ilgi giderek arttı ve araç yakıt tüketimini azaltmak, ayrıca çevreci hareketlilik hareketlerini desteklemek için bir strateji haline geldi [3]. Bu durum da taşıt grubu aerodinamiği ile ilgili çalışmalarının artmasına sebep olmuştur [4-10]. Aerodinamik açıdan ifade etmek gerekirse bir araç üzerindeki sürüklenme kuvvetinin azalması, genel araç direncinde bir azalmaya yol açar. Böylece, motorun daha az güç gerektirmesi ve dolayısıyla daha az yakıt tüketimi nedeniyle bir aracın yakıt verimliliği iyileştirilir [11]. Bu durum ise çevre kirliliğinin azaltılmasını destekleyen çevresel faydaların oluşmasını sağlamaktadır. Bir taşıt grubundaki bir aracın azalan yakıt tüketiminin, öncelikle bir taşıt konvoyu konfigürasyonunun sürtünme azaltma faydalarından kaynaklandığı incelenmiştir. Bir takım araştırmacı araçlar arasındaki mesafeyi detaylı şekilde incelemiştir. Kaluva ve diğerleri [12] hesaplamalı akışkanlar dinamiğini (HAD) kullanarak araçlar arası mesafenin, konvoy boyutunun ve araç hızının bir konvoydaki araçların sürüklenme katsayısı üzerindeki etkisini incelemiştir. Sayısal analizin sonuçları konvoydaki araç sayısına bağlı olarak 1 m'lik araçlar arası mesafede konvoyun ortalama sürüklenme katsayısında %24'e varan bir azalma olduğunu gösterdi. Arka kısmı kare şekline sahip araçların bir yol üzerinde konvoy oluşturmasını durumunu Bruneau ve diğerleri sayısal olarak incelenmiştir [13]. Onların sayısal sonuçları öndeki aracın gövdesi kalkan görevi gördüğünü ve bu nedenle sonraki aracın tamamen farklı akış koşullarıyla yüzleştiğini ortaya çıkarmıştır. Bazı araştırmacılar ise bir konvoyda seyahat eden bir aracın dış gövde şeklinin etkisini araştırmak için çalışmalar yapmışlardır [14-16]. Bir aracın dış gövdesinin şekli, havanın gövde kısmından nasıl aktığını da belirleyerek araç çevresinde farklı aerodinamik akış davranışı oluşturur. Araçların arka kısmı, Araç gövdesinin arkasındaki iz oluşumunda araçların arka kısmı daha fazla belirleyici olduğu için araçların arka kısmını incelemek önemli olabilir. Bu çalışmanın yapılmasının sebebi araçların yan rüzgarlar da dahil olmak üzere belirsiz çevre koşullarında seyahat ediyor olmasıdır. Maalesef, Bir araca uygulanan yanal hava akımı bileşeni yanal kuvveti artırır ve bu durum ise aracın dengesini ve güvenliğini önemli derecede etkilemektedir [17]. Bu etki, büyük bir araç için daha savunmasız hale gelir. Kamyon [18-20] ve tren [21, 22] gibi büyük kara taşıtlarında yan rüzgârın etkisini değerlendirmek için bazı çalışmalar yapılmıştır. Yan rüzgâra maruz kalan bir aracın aerodinamik davranışına ilişkin temel kavram, bazı araştırmacılar tarafından bir referans veya jenerik model kullanılarak da incelenmiştir [23-25]. Bunlar haricinde, trafik nedeniyle oluşan kirletici emisyonlarının aerodinamik etkiyle binalar etrafındaki hava hareketlerini de etkilediği çeşitli çalışmalarda araştırmacılar tarafından gösterilmiştir [26-29]. Demir [30] bu etkileri ise farklı türbülans modelleri kullanarak detaylı bir şekilde incelemiştir. Bu araştırmacıların genel sonuçlar, bir kara aracına uygulanan yan rüzgârın yanal rüzgâr bileşenini etkileyerek yan kuvvet katsayısının ve stabilitenin yükselmesine yol açtığını göstermiştir. Ortaya çıkan iz bölgesi, aracın gövde şeklinin bazı kısımlarında da artmıştır. Ayrıca, yan rüzgârın, seyahat eden karayolu araçlarının aerodinamik faydalarının dikkatini dağıtmada önemli bir rol oynadığını gösterdi.

Ancak, daha önce bahsedilen çalışmaların, konvoy konfigürasyonunda seyahat eden bir grup büyük araçta yan rüzgâr etkisinin önemini kapsamlı bir şekilde araştırmadığı görülmüştür. Bu çalışma, konvoy konfigürasyonunda olan iki büyük otobüsün birbirine olan aerodinamik tepkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu çalışma özellikle konvoy konfigürasyonuna sahip iki büyük otobüsten arkada bulunan otobüsün öncedekini sollama esnasında yaratacağı aerodinamik olayları detaylı bir şekilde incelemiştir.

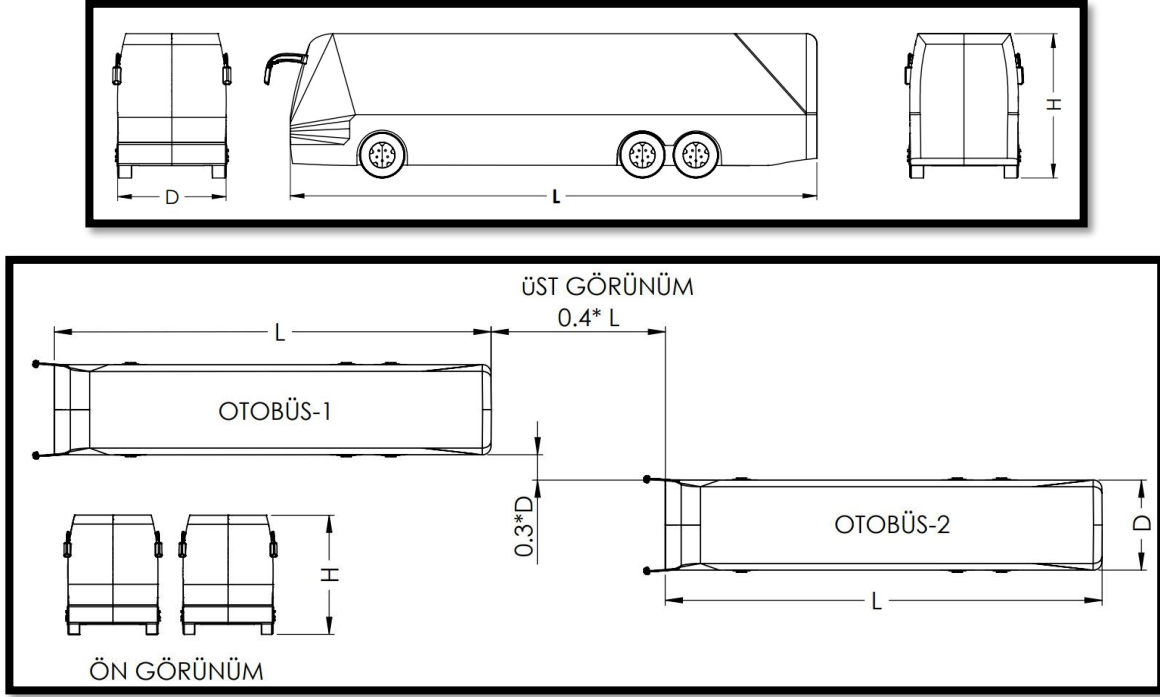
## 2. Materyal ve Metot

Çalışmanın bu kısmında konvoy halindeki iki büyük otobüsün birbirine olan aerodinamik tepkisini araştırmak için kullanılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ve model geometrileri detaylı olarak anlatılacaktır.

### 2.1. Sayısal model

Bu çalışmada simülasyon geometrilerinin ölçüleri Şekil 1'deki gibi gösterilmiştir. D ile gösterilen bir otobüs için iki teker arası mesafe, L ile belirtilen otobüsün boyu ve H ile gösterilen ise otobüsün yüksekliğini ifade etmektedir.

Bu uzunluklar gerçek bir otobüse ait uzunluklar olup sırasıyla  $D= 2500$  mm,  $L= 12500$  mm ve  $H= 3400$  mm'dir. Bu uzunluklar haricinde iki otobüs arası yatay uzunluk  $0.4*L$  ile gösterilirken dikey uzunluk ise  $0.3*D$  ile ifade edilmiştir.



Şekil 1. Otobüslerin teknik resimleri ve ölçüleri

## 2.2. Sayısal yöntem

Sayısal yöntemlerde çözümün hassasiyetini belirleyen en önemli faktörlerden biri ağ yapısıdır. Ağ yapısı hassasiyeti çözümün doğruluğunda doğrudan rol oynamaktadır. Ansys, Cradle, Comsol gibi ticari yazılımlarda ağ yapısının oluşturulması kullanıcı tanımlamalarına özeldir. Yani kullanıcılar ne kadar tecrübeli ve bilgi sahibi ise o kadar iyi ağ yapısı oluşturmaktadırlar fakat HAD yazılımlarının ticari (sanayi uygulamaları) kullanımlarında firmalar bu bilgi ve tecrübeye sahip olmamaları nedeni ile problemler yaşamaktadırlar. Bu neden bir çok yazılım firmalarında mevcut fakat atıl durumda kullanılmayı beklemektedir. FloEFD yazılımında ise ağ yapısı kısmını program kendi içerisindeki algoritma ile düzenlemekte ve ağdan nerede ise bağımsız sonuçlar elde etmektedir. Ayrıca HAD yazılımı kullanıcılarının çözüm yapmadan önce geometriyi analiz için hazırlamaları gerekmektedir. Bu hazırlıklar bazı problemler için günler sürmektedir. FloEFD yazılımında ise geometri düzenlemeye gerek kalmaksızın analizler gerçekleştirilebilmektedir. Programın sonuçları literatürde diğer yazılımlar ve deneysel sonuçlar ile kıyaslanmakta ve kabul edilebilir sonuçlar elde edilmektedir. Türbülans modeli olarak  $k-\epsilon$  seçilmiştir. Program içerisinde diğer HAD yazılımlarında da bulunan standart  $k-\epsilon$  modeli üzerine, deneysel veriler ile düzenlemeler yapılması sonucunda programa özel ayrı bir model oluşturulmuştur. Sınır şartları olarak akış alanı; dış akış tanımlaması, araçların tekerlerinin temas yüzeyleri gerçek duvar olarak tanımlanmıştır. Hız vektörel olarak X yönünde her bir case için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Şekil 2 de yazılımdan elde edilen ağ yapısı görseli sunulmuştur.



Şekil 2. Sayısal modellemedeki ağ yapısı görseli

### 2.3 Aerodinamik sürüklenme tanımlaması

Bu sayısal çalışmada yapılan akış analizlerinin haricinde tek ve arka arkaya olan çift otobüs etrafında meydana gelen akış olaylarının otobüsler üzerinde meydana getirdiği aerodinamik kuvvet de incelenmiştir. Bu bağlamda her iki konfigürasyona ait otobüslerin farklı hızlarına ait sürüklenme katsayısı ( $C_D$ ) verileri aşağıdaki denklem yardımıyla bulunmuştur:

$$C_D = \frac{2 F_D}{\rho V^2 A} \quad (1)$$

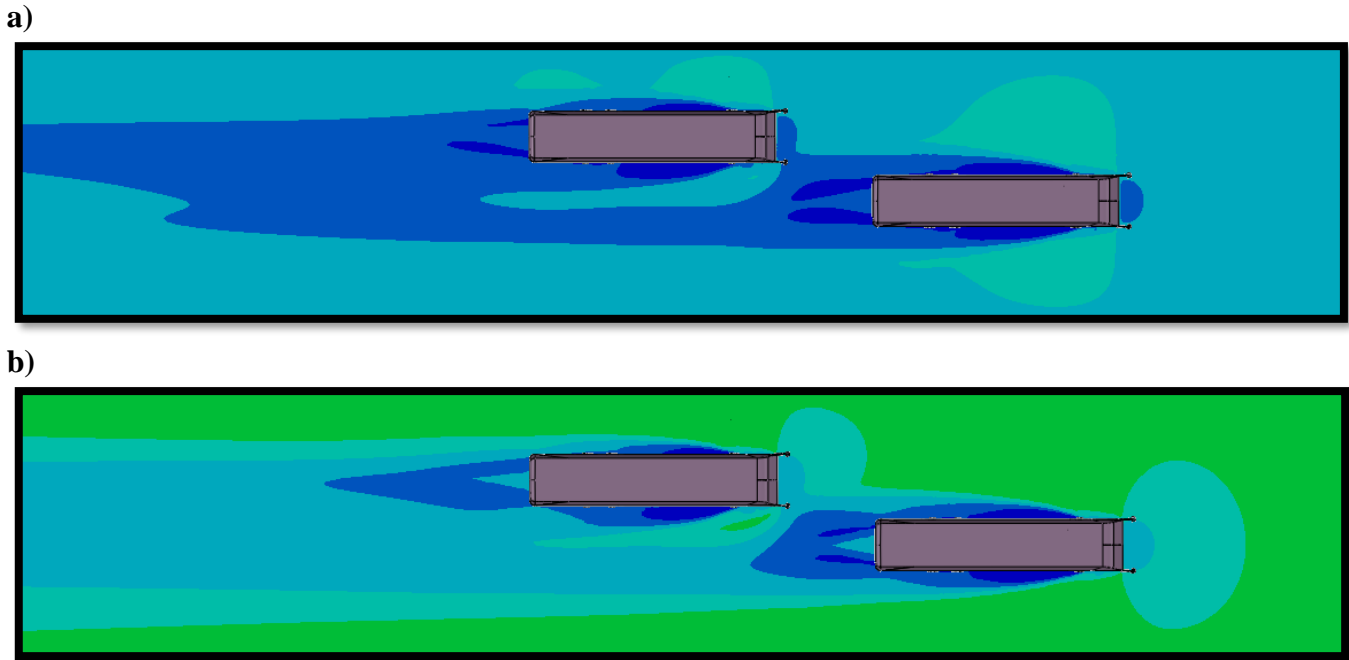
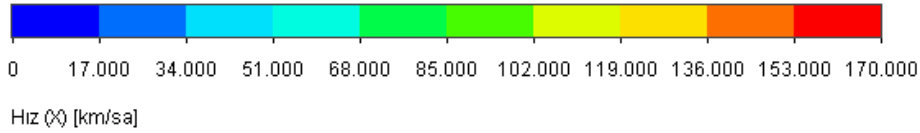
burada  $F_D$  farklı hızlardaki aerodinamik kuvveti gösterirken  $\rho$  hava yoğunluğunu,  $V$  otobüsün hızını ve  $A$  otobüsün ön taraftan bakıldığında iz düşüm alanını ifade etmektedir. Burada yoğunluk  $1.25 \text{ m/s}^2$  ve alan ise  $8.5 \text{ m}^2$ 'dir. Analizler 5 farklı hız (50,70,100,120,150 km/s) değerinde gerçekleştirilmiştir.

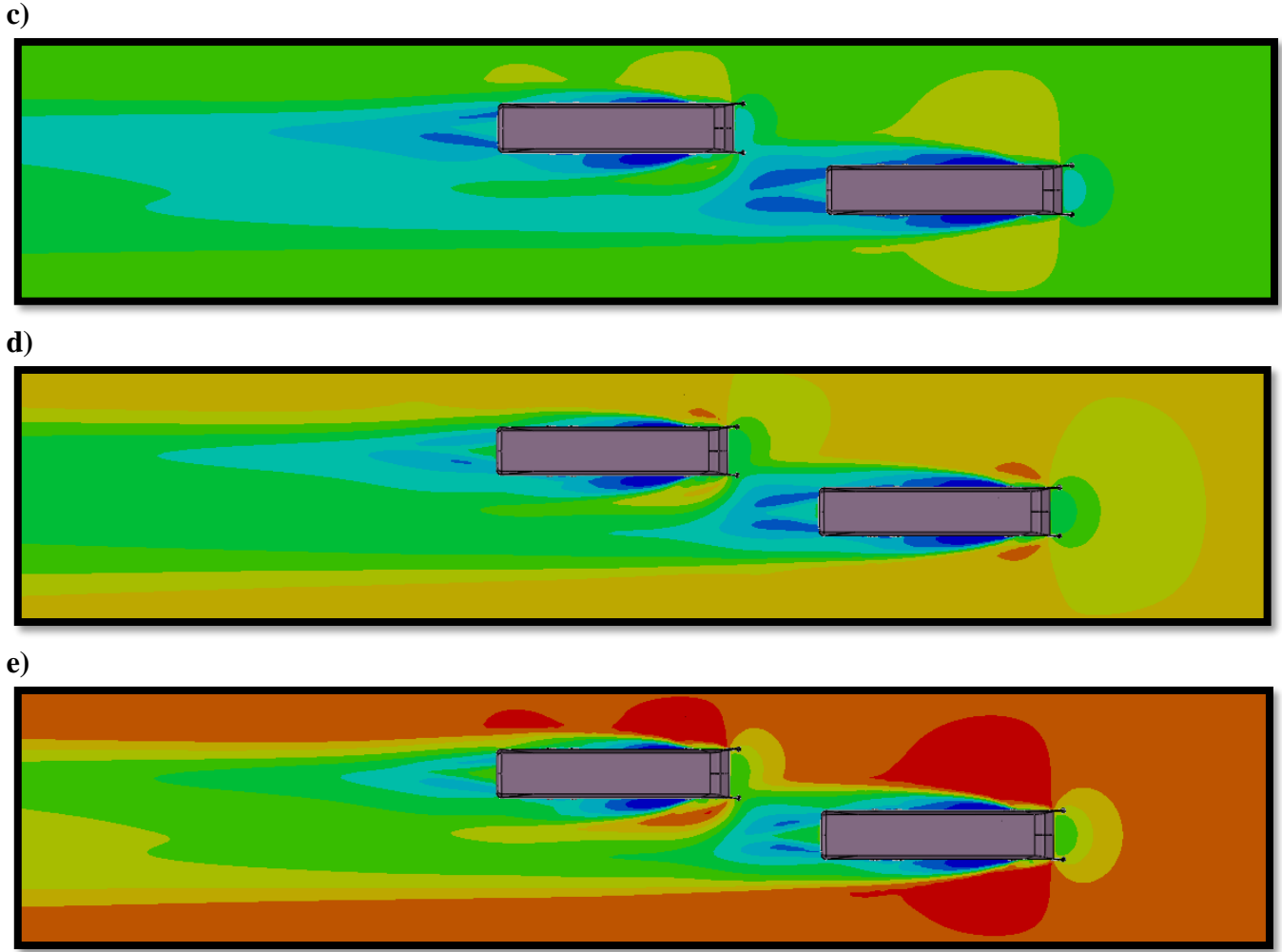
### 3. Bulgular

Çalışmanın bu bölümünde konvoy halindeki otobüslerin sayısal simülasyonundan elde edilen hız grafipleri, türbülans dağılım kontörleri ve otobüslere ait sürüklenme katsayıları sonuçları tartışılacaktır. Ayrıca, otobüslere ait üç boyutlu kontör çizimleri oluşturularak otobüslerin ön ve arka kısmında meydana gelen akış yapılarını daha iyi anlamak için akım çizgileri incelenecektir.

#### 3.1. Hız dağılımı kontörleri

Farklı hızlarda çift otobüs konfigürasyonuna ait hız kontörleri Şekil 3 'te gösterilmiştir. 50 km/s hızında her iki otobüsünün sağ-sol yanlarında ve otobüslerin arka kısmını ifade eden iz alanlarında düşük hız bölgeleri meydana gelmiştir. Hızın 50 km/s 'ten üç kat artarak 150 km/s 'e çıkmasıyla otobüslerin yan ve iz alanlarında meydana gelen düşük hız bölgeleri azalma eğilimine girmiştir. Burada, hızın artmasıyla inert kuvvetle viskoz kuvvetlere baskın çıkarak bu düşük hız bölgelerinin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca, araçların ön kısımları incelendiğinde özellikle baştaki otobüsün düşük hızlarda aracın ön kısmında düşük kontörler belirlenirken hızın artmasıyla bu bölgede hız giderek artmıştır. Bu durumda akışkanlar mekaniğinin konularından olan Bernoulli prensibinden hızın arttığı bölgede basıncın düşük olduğunu göstermektedir.

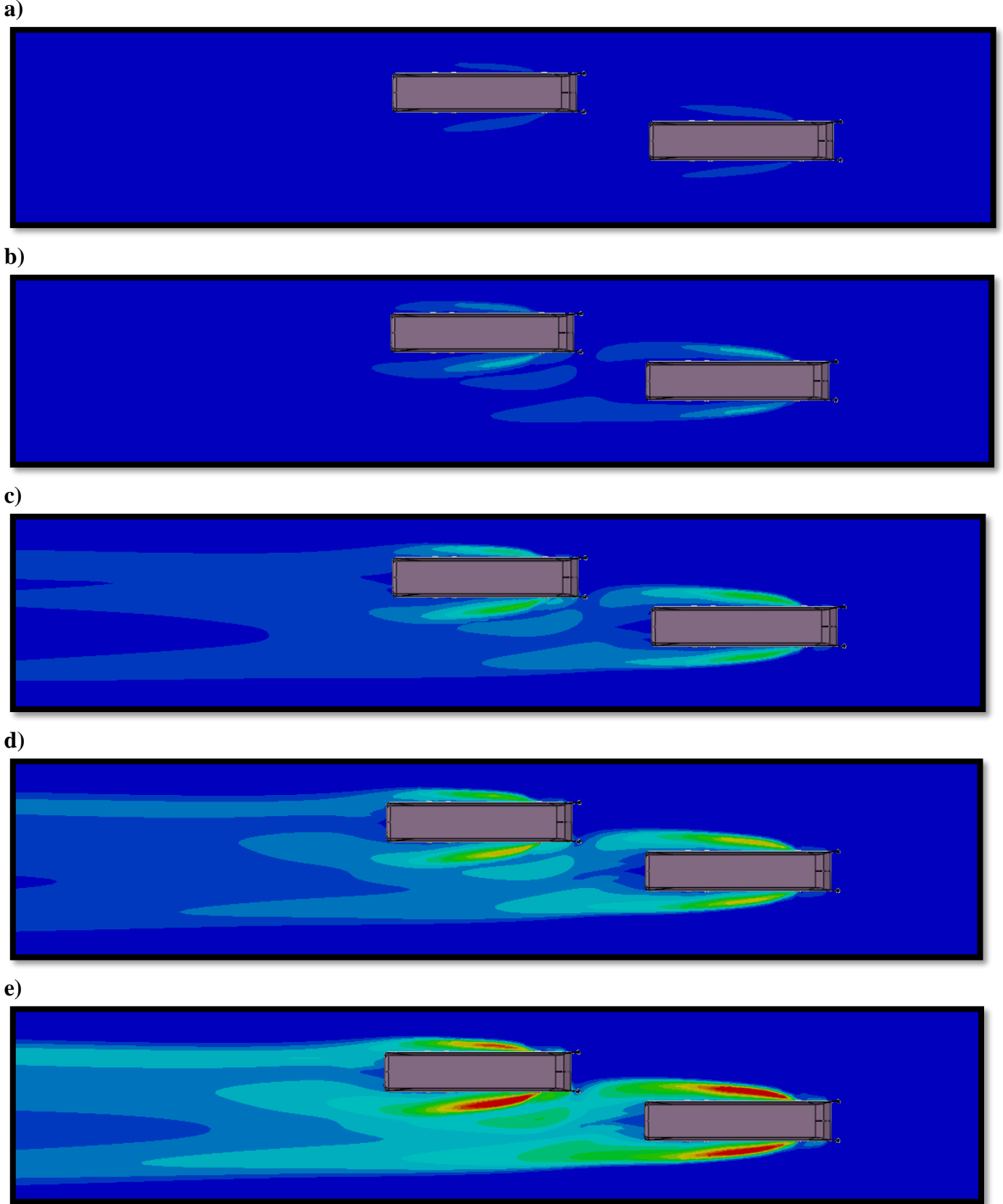
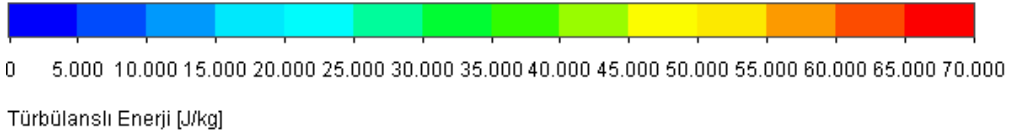




Şekil 3. Otobüslerin hız dağılım kontörleri, a) 50 km/s, b) 70 km/s, c) 100 km/s, d) 120 km/s, e) 150 km/s

### 3.2. Türbülans şiddeti kontörleri

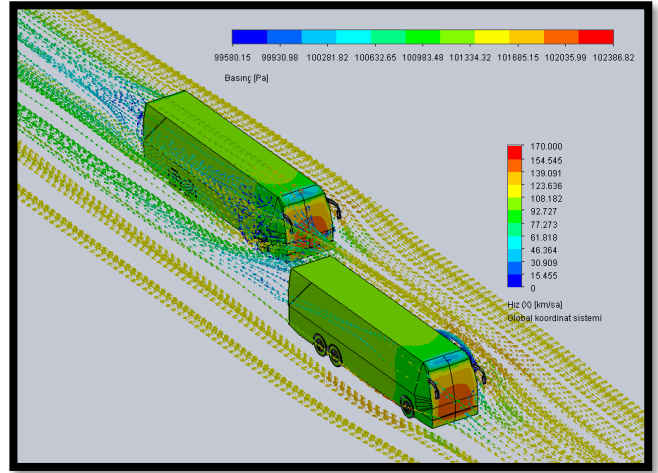
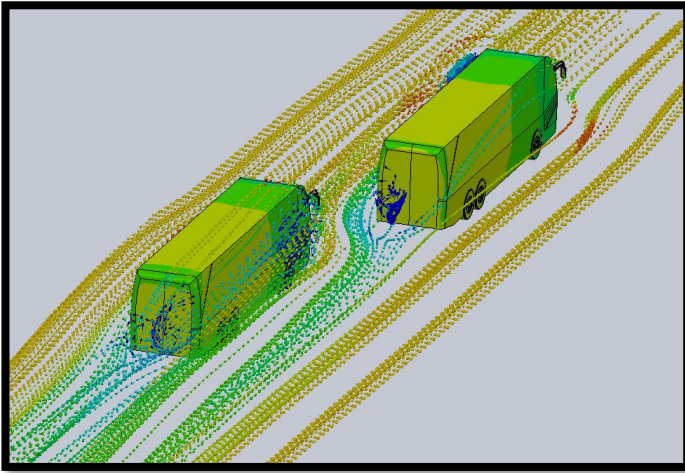
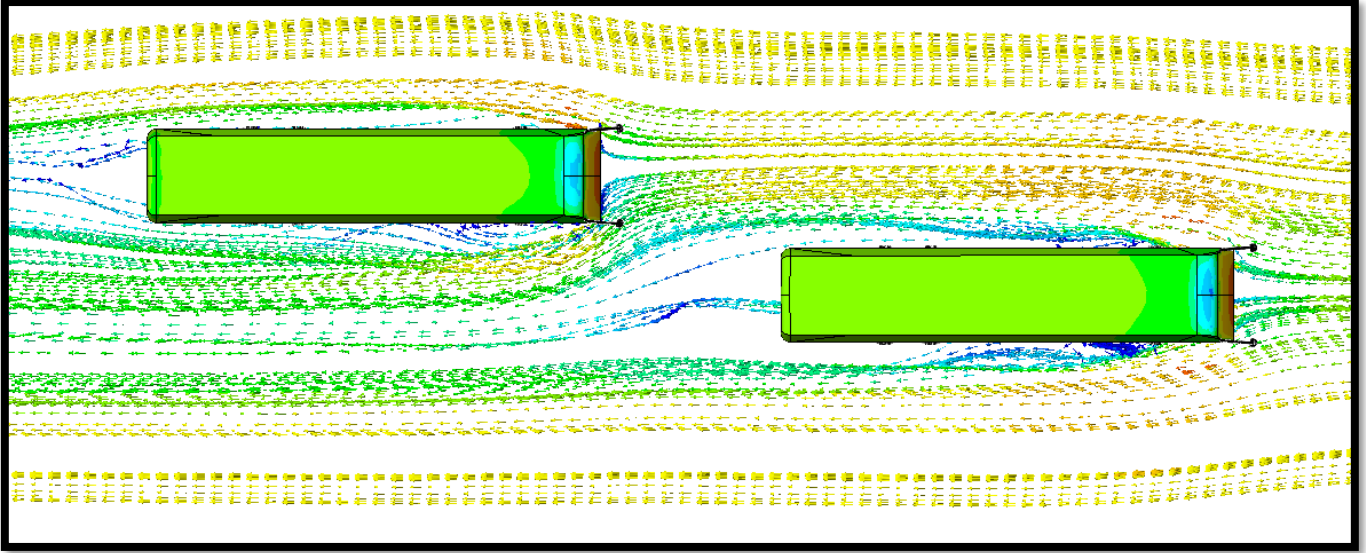
Yukarı kısımda hız kontörlerinin haricinde otobüslerin etrafında meydana gelen akış olaylarını daha iyi anlamak adına Şekil 4'te otobüslere ait türbülanslı enerji kontörleri gösterilmektedir. Bu kontörler her bir otobüsün etrafında meydana gelen akış olaylarını belirtmesinin yanında özellikle öndeki otobüsün arka taraftaki otobüs üzerine akış olarak nasıl bir etki yarattığını daha iyi açıklamaktadır. 50 km/s kontörü incelendiğinde nispeten düşük hız olduğu için otobüslerin etrafındaki açık mavi rengin daha az olduğu görülmektedir. Ancak, hızın artmasıyla bu açık mavi renkler bariz bir şekilde artış göstermiştir. Bu açık mavi renklerin oluşmasının sebebi otobüslerin etrafında meydana gelen akış ayrılması kaynaklı girdaplardır. Özellikle araç hızının 120 km/s ve 150 km/s olması durumlarında ön taraftaki otobüsün etrafında iz bölgesindeki kopan girdaplar arka taraftaki otobüsü açık bir şekilde etkilemektedir.



Şekil 4. Otobüslerin türbülans enerji dağılım kontörleri, a) 50 km/s, b) 70 km/s, c) 100 km/s, d) 120 km/s, e) 150 km/s

### 3.3. Basınç ve akım çizgileri kontörleri

Şekil 5 'te konvoy halindeki otobüslerin ön ve arka (iz) bölgelerinde meydana gelen akış olaylarını 3 boyutlu olarak görselini sunmaktadır. 3 boyutlu görselin haricinde şekillerde akışın nereden koştuğu hangi bölgelerde girdaplar meydana geldiğini daha iyi anlamak içinse akım çizgileri de görsele eklenmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi ön taraftaki otobüsün akış ile karşılaştığı ilk kısmı olan ön kısmında basınç değeri en yüksek olarak hesaplanmıştır. Ön taraftaki otobüsün yan tarafında mavi ile gösterilen alan o bölge meydana gelen akış ayrılmalarını ve akış ayrılma kaynaklı girdapları göstermektedir. Bu girdapların bir kısmı öndeki otobüsün iz bölgesinde bir akış yapısı meydana getirirken diğer kısmı ise arka tarafta bulunan otobüsün ön tarafına çarpmaktadır. Arka tarafta bulunan otobüsün sağ tarafında ilave bir basınç düşüşü meydana gelmiştir.

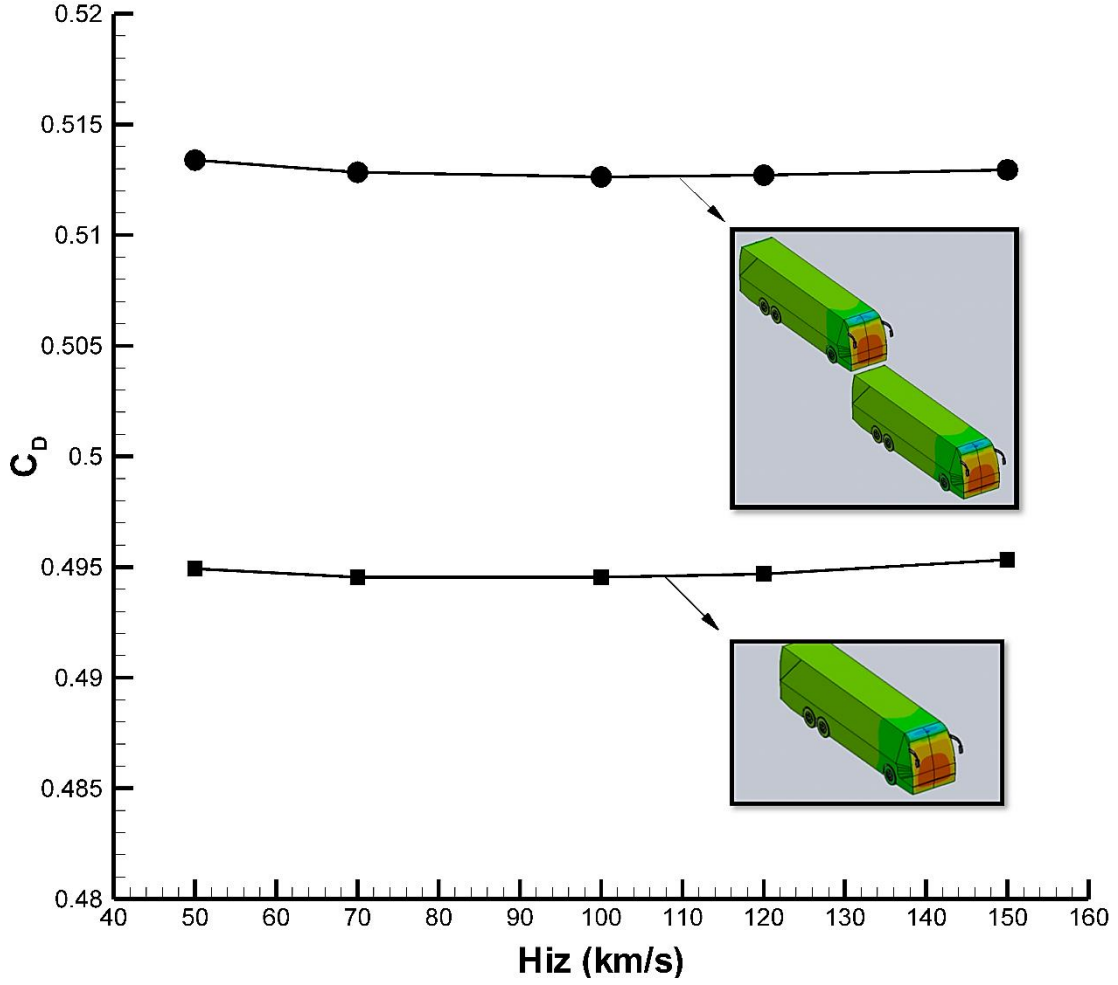


Şekil 5. Otobüslerin akım çizgileriyle 3 boyutlu gösterimi,  $V = 120$  km/s

### 3.4. Sürüklenme katsayısı

Şekil 6'da tek bir otobüse ve konvoy halinde bulunan çift otobüslere ait hız-sürüklenme katsayısı grafiği gösterilmiştir. Şekilde gösterilen sürüklenme eğrileri çift otobüs konfigürasyonunda arka otobüse aittir. Tek otobüs durumunda, hız değerinin 50 km/s olduğu değerde  $C_D$  0.495 çıkmıştır. Hızın artmasıyla beraber  $C_D$  değeri bir miktar azaldıktan sonra tekrar artış göstermiştir. Tek otobüs konfigürasyonunda oluşan sürüklenme durumu otobüsün ön tarafına gelen akış ve burada oluşan akış kaynaklı girdapların otobüs üzerindeki etkileridir. Çift otobüs konfigürasyonunda ise arka taraftaki otobüse üzerinden oluşan sürüklenme değerinin artışı açık bir şekilde görülmektedir. Buradaki sürüklenme değeri  $\sim 3\%$ 'lük bir artış göstererek 0.515 değerlerine çıkmıştır. Arka otobüsteki sürüklenme katsayısının bu şekilde artmasının sebebi daha önceki türbülans enerji dağılımı ve hız

kontörlerinden de bahsedildiği üzere ön tarafta bulunan otobüsten kopan girdaplı akışların arka taraftaki otobüsün ekstra bir sürüklenme kuvvetine sahip olmasına neden olmuştur.



Şekil 6. Tek ve çift otobüse ait sürüklenme katsayısı grafiği

#### 4. Tartışma ve sonuç

Bu çalışmada, konvoy halinde olup arka taraftaki otobüsün ön tarafta bulunan otobüsü sollama esnasında otobüsler üzerinde oluşan akış yapıları farklı hızlarda sayısal olarak incelenmiştir. İki otobüs için ayrı ayrı akış yapıları incelenmesinin yanında özellikle arkadaki otobüsün geçiş esnasında üzerinde meydana gelen sürüklenme kuvvetleri de detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Hız, türbülanslı enerji dağılım ve akım çizgilerini içeren kontörler baş tarafta bulunan otobüsün ön kısmına gelen akışın otobüsün ön bölgesinde basıncın artmasına sebebiyet verdiğini göstermiştir. Ayrıca, ön taraftaki otobüsün yan taraflarında düşük hız bölgeleri olduğu bu düşük hız bölgelerinde oluşan girdapların arka taraftaki otobüsü direkt etkilediği belirlenmiştir. Bu kopan girdapların arka taraftaki otobüsü nasıl etkilediğini daha iyi anlamak adına sürüklenme katsayısı grafiği farklı hızlarda oluşturulmuştur. Özellikle bu sürüklenme grafiği ön taraftan kopan girdapların sollama esnasında arka taraftaki otobüse çarparak ekstra bir sürüklenme kuvveti oluşturmuş ve sürüklenme kuvveti ~%3'lük bir artış göstermiştir. Bu çalışma özellikle otobüs gibi ağır tonajlı araçların aerodinamiksel olarak daha geliştirebilmesini ve bununla birlikte özellikle yakıt tasarrufu sağlayacağını göstermektedir.



**Kaynakça**

- [1] T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, veri seti kitapçığı, 2021. <https://sgb.uab.gov.tr/uploads/pages/istatistikler/2021-01-veriseti.pdf>
- [2] Shladover, S. E., Desoer, C. A., Hedrick, J. K., Tomizuka, M., Walrand, J., Zhang, W. B., McKeown, N., 1991. Automated vehicle control developments in the PATH program. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 40(1), 114-130.
- [3] Davila, A., Del Pozo, E., Aramburu, E., Freixas, A., 2013. Environmental benefits of vehicle platooning. In *Symposium on International Automotive Technology 2013* (No. 2013-26-0142).
- [4] Altinisik, A., Yemenici, O., Umur, H., 2015. Aerodynamic analysis of a passenger car at yaw angle and two-vehicle platoon. *Journal of Fluids Engineering*, 137(12).
- [5] Lammert, M. P., Duran, A., Diez, J., Burton, K., Nicholson, A., 2014. Effect of platooning on fuel consumption of class 8 vehicles over a range of speeds, following distances, and mass (Vol. 7, No. 2). *National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States)*.
- [6] McAuliffe, B. R., Ahmadi-Baloutaki, M., 2018. A wind-tunnel investigation of the influence of separation distance, lateral stagger, and trailer configuration on the drag-reduction potential of a two-truck platoon. *SAE Int. J. Commer. Veh.*, 11(2), 125-150.
- [7] Robertson, F. H., Bourriez, F., He, M., Soper, D., Baker, C., Hemida, H., Sterling, M., 2019. An experimental investigation of the aerodynamic flows created by lorries travelling in a long platoon. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 193, 103966.
- [8] Robertson, F. H., Soper, D., Baker, C., 2021. Unsteady aerodynamic forces on long lorry platoons. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 209, 104481.
- [9] [Humphreys, H., Bevely, D., 2016. Computational fluid dynamic analysis of a generic 2 truck platoon (No. 2016-01-8008). *SAE Technical Paper*.
- [10] Liang, K. Y., Mårtensson, J., Johansson, K. H., 2015. Heavy-duty vehicle platoon formation for fuel efficiency. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(4), 1051-1061.
- [11] Davila, A., Nombela, M., 2012. Platooning-safe and eco-friendly mobility (No. 2012-01-0488). *SAE Technical Paper*.
- [12] Kaluva, S. T., Pathak, A., Ongel, A., 2020. Aerodynamic drag analysis of autonomous electric vehicle platoons. *Energies*, 13(15), 4028.
- [13] Bruneau, C. H., Khadra, K., Mortazavi, I., 2017. Flow analysis of square-back simplified vehicles in platoon. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 66, 43-59.
- [14] He, B., Wu, Y., Fu, L., 2008. Influence of vehicle shape on the aerodynamic characteristics of intelligent vehicle platoon. *Journal of Jilin University*, 38(1), 7-11.
- [15] Li, Q., Dai, W., Yang, Z., Jia, Q., 2020. Investigation on aerodynamic characteristics of tailing vehicle hood in a two-vehicle platoon. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 234(1), 283-299.
- [16] Le Good, G., Resnick, M., Boardman, P., Clough, B., 2021. An investigation of aerodynamic effects of body morphing for passenger cars in close-proximity. *Fluids*, 6(2), 64.
- [17] Sun, H., Karadimitriou, E., Li, X. M., Mathioulakis, D., 2019. Aerodynamic Interference between Two road vehicle models during overtaking. *Journal of Energy Engineering*, 145(2), 04019002.
- [18] [Chen, F., Peng, H., Ma, X., Liang, J., Pan, X., 2020. Model of driving behavior of truck driver under crosswind. *Journal of Tongji University*.
- [19] Hu, X. J., Qin, P., Liao, L., Guo, P., Wang, J. Y., Yang, B., 2014. Numerical simulation of the aerodynamic characteristics of heavy-duty trucks through viaduct in crosswind. *Journal of Hydrodynamics*, 26(3), 394-399.
- [20] Chen, F., Peng, H., Ma, X., Liang, J., Hao, W., Pan, X., 2019. Examining the safety of trucks under crosswind at bridge-tunnel section: A driving simulator study. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 92, 103034.
- [21] Guo, Z., Liu, T., Yu, M., Chen, Z., Li, W., Huo, X., Liu, H., 2019. Numerical study for the aerodynamic performance of double unit train under crosswind. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 191, 203-214.
- [22] Niu, J., Zhou, D., Liang, X., 2018. Numerical investigation of the aerodynamic characteristics of high-speed trains of different lengths under crosswind with or without windbreaks. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 12(1), 195-215.

- [23] Zhu, H., Zhigang, Y., 2015. Fluid–structure interaction study of three-dimensional vehicle model under crosswind. *Advances in Mechanical Engineering*, 7(6), 1687814015591318.
- [24] Ishak, I. A., Mat Ali, M. S., Mohd Yakub, M. F., Shaikh Salim, S. A. Z. (2019). Effect of crosswinds on aerodynamic characteristics around a generic train model. *International Journal of Rail Transportation*, 7(1), 23-54.
- [25] Ishak, I. A., Ali, M. S. M., Sakri, F. M., Zulkifli, F. H., Darlis, N., Mahmudin, R., Khalid, A., 2019. Aerodynamic characteristics around a generic train moving on different embankments under the influence of crosswind. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 61(1), 106-128.
- [26] Gölbaşı, D., Buyruk, E., Karabulut, K. (2018). Experimental and numerical research of the flow features around the building pairs with different types. *Cumhuriyet Science Journal*, 39(4), 1089-1106.
- [27] Gölbaşı, D., Buyruk, E., Şahin, B., Karabulut, K. (2017). Değişik bina modelleri için akış alanlarının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi. *Tesisat Mühendisliği*, 6(162), 32-47.
- [28] Gölbaşı, D., Buyruk, E., Karabulut, K. (2021). Çatılı Bina Modellerinde Binalar Arası Mesafenin ve Bina Yüksekliğinin Akış Yapısı Üzerindeki Etkisinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10(2), 101-111.
- [29] Gölbaşı, D., Buyruk, E., Karabulut, K. (2022). Experimental and Numerical Investigation of Flow Structures Around Different Binary Building Geometries. *Journal of Engineering Thermophysics*, 31(1), 173-186.
- [30] Demir, H. (2021). Numerical investigation of wind loads on building with various turbulence models. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 37(2), 356-366.