



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 26.04.2023
Kabul Tarihi : 28.07.2023

Received Date : 26.04.2023
Accepted Date : 28.07.2023

TARIMSAL TRAKTÖRLERLE YAPILAN YOL İÇİ TAŞIMACILIKTA KULLANICI BÖLÜMÜ YAPISININ HAVA AKIŞI DİRENCİ AÇISINDAN DENEYSEL İNCELENMESİ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF USER COMPARTMENT STRUCTURE IN TERMS OF AIR FLOW RESISTANCE FOR ON ROAD TRANSPORTATION WITH AGRICULTURAL TRACTORS

Hanifi KÜÇÜKSARIYILDIZ¹ (ORCID: 0000-0001-5218-3409)
Osman BABAYİĞİT² (ORCID: 0000-0003-3788-7787)
Eyüb CANLI^{3,*} (ORCID: 0000-0002-9358-1603)
Kazım ÇARMAN⁴ (ORCID: 0000-0002-9860-7403)

- ¹ Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Karaman, Türkiye
² Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye
³ Selçuk Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye
⁴ Selçuk Üniversitesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Eyüb CANLI, ecanli@selcuk.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada bir rüzgâr tüneli kullanılarak ölçeklendirilmiş tarımsal traktör modellerine etki eden hava akışı direnci deneysel olarak tespit edilmiştir. Traktör modelleri aynı şekle sahiptir fakat kullanıcının bulunduğu bölümde üç farklı tasarım denenmiştir. Bunlar kabinle kuşatılmış platform, güneşlikli platform ve devrilme sırasında kullanıcıyı koruyacak koruma çubuklu platformdur. Böylece kullanıcı bölümünün tasarımına bağlı olarak yol içi taşımacılıkta traktörlerin maruz kaldığı hava direnci değişimleri ilk defa deneysel olarak belirlenmiş olmaktadır. Geometrik benzerlik esaslarına göre rüzgâr tüneline kullanılan traktör modelleri 1:13 oranında hazırlanmıştır. Rüzgâr tüneli testlerinde kinematik ve dinamik benzerlik sağlanamamakta fakat Reynolds sayısı bağımsızlığı elde edilebilmektedir. Rüzgâr tüneli hava akış hızı aralığında farklı hava hızlarında deneyler yapılarak bir Reynolds sayısı aralığı taranmıştır. Bu aralıkta modellere etki eden aerodinamik direnç kuvvetleri ve traktörlerin simetri ekseninde hava akışı kaynaklı basınç dağılımları ölçülmüştür. Elde edilen ölçümlerden boyutsuz aerodinamik direnç katsayısı ve basınç katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre kabin kullanımı aerodinamik direnci %3-15 aralığında arttırmaktadır. Düşük hızlarda kabin kullanımı kaynaklı direnç artış yüzdesi fazlayken yüksek hızlarda azalmaktadır. Kabin kullanımı sonucunda akışa dik traktör ön izdüşüm alanı artmaktadır. Fakat aerodinamik dirençteki artış ön iz düşüm alanındaki artışa göre bir mertebe daha düşüktür. Kabin kullanımının iş güvenliği açısından sağladıkları da düşünüldüğünde kabin kullanımı kaynaklı aerodinamik direnç artışının kabul edilebilir bir maliyet olduğu anlaşılmaktadır. Çalışma sonuçlarının tarımsal traktörlerle yol içi taşımacılıkta enerji tüketiminin ayrıştırılmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Aerodinamik, direnç katsayısı, kinematik benzerlik, Reynolds bağımsızlığı, rüzgâr tüneli.

ABSTRACT

In this study, the air flow resistance acting on scaled agricultural tractor models using a wind tunnel was determined experimentally. Tractor models have the same shape, but three different designs were tried on the operator platform section. These are the platform surrounded by the cab, the sunshade platform and the platform with the protection bar to protect the user in case of overturning. Thus, depending on the design of the user section, the air resistance changes that the tractors are exposed to in on-road transportation are determined experimentally for the first time. Tractor models used in the wind tunnel were prepared in a ratio of 1:13 according to geometric similarity principles.

ToCite: KÜÇÜKSARIYILDIZ, H., BABAYİĞİT, O., CANLI, E. & ÇARMAN, A., (2023). TARIMSAL TRAKTÖRLERLE YAPILAN YOL İÇİ TAŞIMACILIKTA KULLANICI BÖLÜMÜ YAPISININ HAVA AKIŞI DİRENCİ AÇISINDAN DENEYSEL İNCELENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(3), 694-706.

In wind tunnel tests, kinematic and dynamic similarity cannot be achieved, but Reynolds number independence can be obtained. A Reynolds number range was surveyed by performing experiments at different air velocities in the wind tunnel air flow rate range. In this range, the aerodynamic resistance forces acting on the models and the air flow-induced pressure distributions in the symmetry axis of the tractors were measured. Dimensionless aerodynamic drag coefficient and pressure coefficient values were calculated from the measurements obtained. According to the calculations, the use of the cabin increases the aerodynamic resistance in the range of 3-15%. While the percentage of resistance increase due to cabin usage is high at low speeds, it decreases at high speeds. As a result of the use of the cabin, the tractor front projection area perpendicular to the flow increases. However, the increase in aerodynamic drag is one order lower than the increase in the frontal projection area. Considering the benefits of cabin use in terms of occupational safety, it is understood that the increase in aerodynamic resistance due to cabin use is an acceptable cost. It is expected that the results of the study will contribute to the separation of energy consumption in on-road transportation with agricultural tractors.

Keywords: Aerodynamic, resistance coefficient, kinematic similarity, Reynolds independency, wind tunnel.

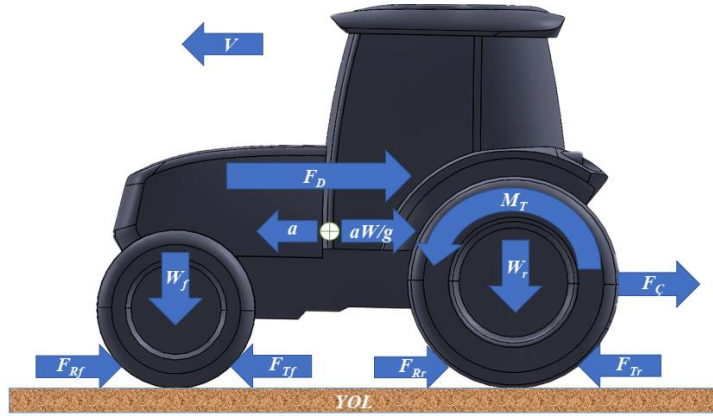
GİRİŞ

Tarımsal traktörlerin artan becerilerinden bir tanesi seyir hızıdır (Canlı vd., 2022; Mattetti vd., 2021; Mederle vd., 2015). Traktörlerin artan seyir hızı, yol içi taşımacılıkta traktör-tarım arabası çiftinin daha çok görülmesine neden olmaktadır. Yapılan literatür incelemelerinde tarımsal traktörün kullanım süresinin neredeyse yarısına yakınının tarla dışında gerçekleştiği ifade edilmektedir (Altıntaş, 2015). Ülkemizde ve dünyada tarımsal traktör sayıları göz önüne alındığında ciddi bir kullanım süresi ortaya çıkmaktadır (El Gaouti vd., 2021). Bu kullanımın yol içi taşımacılığa yönelik kısmının ekonomik ve çevresel etkilerine yönelik bir çalışma bulunamamıştır. Bu noktada böyle bir çalışmanın faydalı olacağı vurgulanmalıdır. Fakat diğer bir önemli konu, tarımsal traktörlerin yol içi taşımacılıkta kullanımlarının ekonomik ve çevresel etkilerinin azaltılmasıdır. Böyle bir çalışma için hangi etkenlerin ne ölçüde etkin olduklarının bilinmesi gerekmektedir. Burada kastedilen, çevresel ve ekonomik etkilere yol açan fiziksel olguların bileşenlerine ayrılmasıdır. Çünkü ancak bu şekilde üzerinde çalışılacak konular belirlenebilir ve çalışmalar sayesinde iyileştirmeler elde edilebilir. Aerodinamik direnç de belirlenmesi gereken bileşenlerden biridir. Taşımacılıkta seyir hızları genellikle sabit seyir hızlarıdır (Wong, 2008; Hucho, 1990). Sabit seyir hızı ile ilerleyen karayolu taşıtlarında en önemli enerji tüketen olgu hava direncinin oluşturduğu kuvvet ve bu kuvveti yenebilmek için harcanan yakıttır (Urquhart vd., 2020). Dolayısıyla tarımsal traktörlerin yol içi taşımacılığa denk gelen hızlarda aerodinamik performanslarının belirlenmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Tarımsal traktörler iş makineleridir. Sürücüleri/kullanıcıları uzun saatler boyunca bu iş makinesi üzerinde çalışmaktadır. Tarlada iş koşullarından kullanıcının olumsuz etkilenmesini önlemek, yol içi taşımacılıkta ve muhtelif kullanımlarda kullanıcının iş güvenliğini sağlamak (Oh vd., 2020) için tarımsal traktörlerde sürücü kabini kullanımı çok yaygınlaştığı düşünülmektedir. Fakat bu görüşe dair sayısal bir veri bulunamamıştır. Traktör kabinleriyle ilgili yapılan bilimsel çalışmalar genellikle titreşim (Zheng vd., 2019) ve yapısal özellikler üzerinedir (Karakuşak & Yetkin, 2020; Kumar vd., 2015). Konuyla ilgili yaptığımız araştırmalarda ülkemizde 10 adet kabin üreticisi bulunduğu ve 2021 yılı itibarıyla 68000 adet traktör kabini üretildiği tespit edilmiştir (Anonim, 2022). Diğer taraftan 2022 yılında ülkemizde 82500 traktör üretildiği, ithalat ihracat dengesinde ise 2021 yılında ihracatın ithalattan yaklaşık 10000 adet fazla olduğu görülmektedir (İleri, 2023). Bu durumda ülkemizde kalan net yeni traktör sayısının neredeyse tamamına karşılık bir kabin üretildiği anlaşılmaktadır. Tarımsal traktörlerde sürücü kabini kullanımının iş güvenliği açısından bariz olan etkisine rağmen kabin kullanımı yasal bir zorunluluk değildir. Bu nedenle traktörlerdeki kabin geometrisinin bireysel aerodinamik etkisinin de belirlenmesi gerektiği düşünülmüştür.

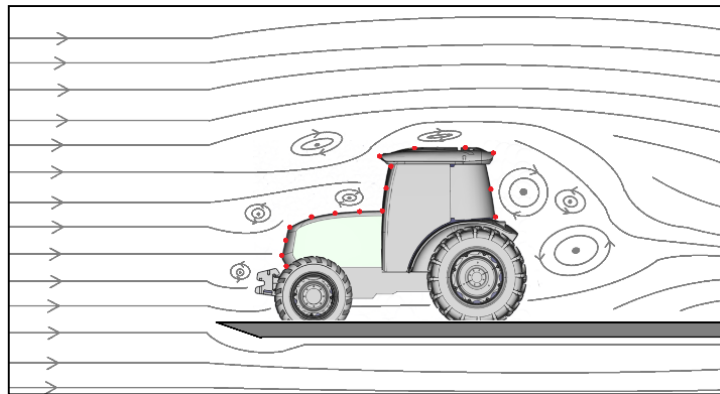
Bu çalışmada tanımlanan ve daha sonra üzerinde deneysel araştırma yapılan problemin anlaşılabilirliği için öncelikle Şekil 1'deki şematik görselde tarımsal traktörün seyri sırasında üzerine etki eden direnç kuvvetlerinin anlaşılması gerekmektedir. Şekilde gösterilen sembollerin açıklamaları referanslar listesinden önce kısaltmalar bölümünde açıklanmıştır. Şekilde lastiklere etkiyen yuvarlanma direnci, varsa traktörün çektiği bir yükten dolayı etkiyen çeki kuvveti, ivmelenme ve frenleme sırasında oluşan atalet kuvveti ve ilerleme yönünün tersine etkiyen aerodinamik direnç kuvveti görülmektedir. Bahsedilen kuvvetlerden aerodinamik direnç kuvveti, ilerleme hızının karesiyle orantılı olduğu için yol içi taşımacılığa karşılık gelen hızlarda üssel olarak artmaktadır. Artan traktör hızlarına bağlı olarak aerodinamik direnç kuvvetinin diğer direnç kuvvetlerinden izole bir şekilde belirlenmesi bu çalışmadaki problemlerden biridir. Bu kuvvetin kullanıcının bulunduğu bölümün tasarımına göre değişip değişmediği de

araştırmanın diğer bir sorusudur. Yöntem bölümünde izah edileceği üzere problem deneysel bir yolla incelenmiştir. Traktör şekli kendine has bir geometriye sahiptir. Yine de belirli bir geometri üzerinde çalışabilmek için Erkunt Traktör A.Ş.'nin ticari bir modeli seçilmiş ve araştırmadaki parametre izolasyonuna göre geometri üzerinde değişiklikler ve basitleştirmeler yapılarak geometri çalışmaya uygun hale getirilmiştir. Araştırma öncesinde, aerodinamik dirence yol açan fiziksel olguların aslında traktörün yüzeyindeki basınç dağılımının yüzey integrali ile bulunan kuvvet olduğu anlaşılmıştır. Yani traktörün üst akımına bakan yüzeylerde oluşan yüksek basınç bölgeleri ile traktörün art akım yönüne bakan yüzeylerdeki alçak basınç bölgeleri arasındaki basınç farkı hareket yönüne zıt bir kuvvet oluşturmaktadır. Bu açıklama doğal olarak konuyla ilgili literatürün ve teorik kaynakların bir sonucudur (Çengel & Cimbala, 2018; Wong, 2008). Burada yüksek basıncın sebebi traktör yüzeylerine dik temas eden havanın toplam basıncının statik basınca dönüşmesidir. Diğer taraftan traktör yüzeylerine paralel akışta Bernoulli prensibine uygun olarak hız arttıkça statik basınç azalmaktadır. Ayrıca bazı yüzeylerde akış ayrılmaları olacağı ve akış ayrılmalarına paralel dönümlü akış bölgelerinin oluşabileceği de çalışma öncesinde öngörülmüştür. Bu durumun izahına yönelik şematik bir görsel Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 1. Seyir Halindeki Tarımsal Traktöre Etkiyen Direnç Kuvvetlerinin Şematik Gösterimi

Şekil 1'de a doğrusal ivme (m/s^2), F_C çeki kuvveti (N), F_D aerodinamik direnç kuvveti (N), F_R yuvarlanma direnci (N), F_{Rf} ön tekerlekteki yuvarlanma direnci (N), F_{Rr} arka tekerlekteki yuvarlanma direnci (N), F_T tahrik kuvveti (N), F_{Tf} ön tekerlekteki tahrik kuvveti (N), F_{Tr} arka tekerlekteki tahrik kuvveti (N), g yerçekimi ivmesi (m/s^2), M_T tahrik torku (Nm), V ilerleme hızı (m/s), W traktör ağırlığı (N), W_f traktörün ön aks ağırlığı (N), W_r traktörün arka aks ağırlığı (N) göstermektedir.



Şekil 2. Traktörün Seyri Sırasında Etrafındaki Zaman Ortalamalı Akım Çizgilerinin Şematik Sunumu

Literatürde iş makineleri ve ticari çekiciler için çok sayıda aerodinamik inceleme bulunmaktadır (Chowdhury vd., 2019; Martini vd., 2011; Modi vd., 1995; Drollinger, 1987). Bahsedilen çalışmalarda seyir halindeki araçların geometrik parametrelerinin aerodinamik dirence etkileri sunulmaktadır (Cooper, 2004; Wood & Bauer, 2003). Bazı çalışmalarda geometriler üzerinde değişiklikler denenerek aerodinamik direnç azaltılmaya çalışılmaktadır (Chilbule vd., 2014; Van Raemdonck & Van Tooren, 2008). Dolayısıyla aerodinamik direncin azaltılmasına yönelik bazı

sistemik yaklaşımlar ve ortak çözümler ortaya çıkmıştır (Peng vd., 2018; McAuliffe, 2015). Genellikle sunulan çözümler aktif ve pasif olarak ikiye ayrılabilir (Biswas vd., 2019; Hol & Agrewale, 2019). Aktif çözümlerde bir miktar enerji harcanarak akış üzerinde değişiklik yapılırken pasif yöntemler genellikle taşıt geometrisindeki değişikliklerdir (Vignesh vd., 2019; Sivaraj vd., 2018). Sıklıkla kullanılan çözümlerin tarımsal traktör aerodinamiğine de uyarlanması öngörülebilir. Literatürdeki deneysel çalışmalar incelendiğinde genellikle rüzgâr tüneli ve ölçekli modeller kullanıldığı anlaşılmaktadır (Gulavani vd., 2019). Deneysel yöntemde de ortak bir sürecin işletildiği görülmektedir (Jacuzzi & Granlund, 2019). Genellikle ölçekli modellerde incelenmesi istenen geometrik parametreler belirlenerek diğer etkenler izole edilmekte, bu iş geometri üzerinde basitleştirmeler yapılarak uygulanmaktadır (Ahmed vd., 1984). Daha sonra sabit tutulan geometrik modele farklı hızlarda hava akışı tek bir doğrultuda uygulanmaktadır (Cogotti vd., 2017). Burada bir Reynolds sayısı (Re) aralığında deneyler gerçekleştirilmekte ve Re sayısı artarken aerodinamik direnç katsayısının değişmediği aralık tespit edilmektedir (Dalesio vd., 2017). Böylece elde edilen boyutsuz katsayı ile gerçek yol koşullarına denk gelen Re sayılarına ekstrapolasyon yapılarak gerçek durum hakkında yorum yapılmaktadır (Bayındırlı vd., 2018; Bayındırlı, 2015). Deneysel çalışmaların ayrıca sayısal çalışmaların doğrulanmasında kullanıldığı (Palanivendhan vd., 2021) ve daha sonra sayısal çalışmalarla detaylı incelemeler yapılan örnekler de sıklıkla karşılaşılmaktadır (Bauskar vd., 2019). Yine literatür incelemelerinde denenen geometrik değişikliklerin marjinal bir değişikliğe neden olmadığı (Saleh & Ali, 2020), yine de elde edilen %1-5 arasındaki değişimlerin taşıtlardaki yoğun kullanım ve büyük enerji tüketimi dikkate alındığında önemli addedildiği görülmektedir (Patidar vd., 2015; Van Raemdonck & Van Tooren, 2008).

Doğrudan traktör aerodinamiği üzerine yapılmış deneysel bir bilimsel çalışma bulunamamıştır. Literatürde karşılaşılan üç traktör aerodinamiği çalışmasından ikisinde traktör geometrisi bir sayısal ağ yöntemini denemek için karmaşık bir geometri arayan araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır (Hsu vd., 2016; Xu vd., 2016). Araştırmacılar 0,8 civarında bir aerodinamik direnç katsayısı (C_D) bulmuşlardır. Fakat araştırmacılar herhangi bir aerodinamik direnç kuvveti vermediği ve traktör boyutları da net tarif edilmediği için aerodinamik direnç kuvveti (F_D) hesaplanamamaktadır. Ayrıca Reynolds sayısı bağımsızlığı da net biçimde tarif edilmemiştir. Diğer çalışma ise Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanarak kabinli ve platformlu traktör geometrisinin C_D ve F_D değerini vermekte ve daha çok HAD yöntemi üzerinde durmaktadır (Canlı vd., 2022). Bahsedilen son çalışmada herhangi bir deneysel doğrulama ve inceleme bulunmamaktadır.

Giriş bölümünde tarif edilen motivasyon ve problem tarifine istinaden, literatür incelemesinden de yola çıkılarak bu çalışmada tarımsal traktörleri temsilen bir temel geometri seçilmiş ve bu geometrinin kabinli, platformlu ve yuvarlanma durumunda kullanıcı güvenliği için koruma çubuklu türevleri aerodinamik açıdan deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel incelemede bir rüzgâr tüneli ve ölçekli modeller kullanılmıştır. Bu yolla aerodinamik direnç kuvveti traktörün seyir halinde üzerine etkileyen diğer etkenlerden izole edilmiş olmaktadır. Ayrıca traktör yüzeyindeki gözeneklilik, ısı değiştiriciler ve/veya klima sistemi gibi ek hava akışına neden olacak yükler, yolun ve tekerlerin bağıl hareketleri gibi bazı etkenler de çalışmada göz ardı edilmiştir. Böylece sadece traktörde incelenen geometrik parametrelerin etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Göz ardı edilen aerodinamik etkilerin gelecek çalışmalarla olay fiziğinin gerçeğe yaklaştırılması için eklenebileceği öngörülebilir. Elde edilen sonuçlar ilgili sektörde traktör kabinlerinin değerlendirilmesinde kullanılabilir, ayrıca tarımsal traktörlerin yol içi taşımacılıkta çevresel ve ekonomik etkileri incelenirken aerodinamik etkilerin incelenmesinde yararlanılabilecektir. Yazının devamında, yöntem bölümünde, kullanılan yaklaşımın detayları sunulmuştur. Daha sonra elde edilen nicel sonuçlar grafiksel şekilde sonuçlar ve tartışma başlığı altında sunulmuş ve burada sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuç bölümünde ise çalışmanın nihai çıktılarına değinilmiştir.

YÖNTEM

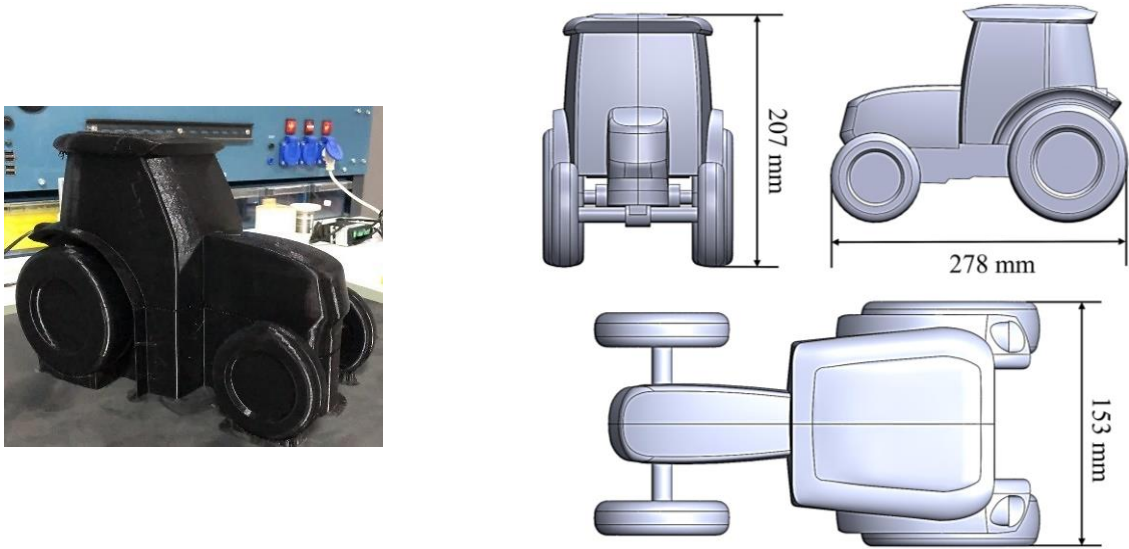
Bu çalışmada deneyler Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Prof. Dr. Şinasi YETKİN Araştırma ve Uygulama Tesisleri'nde bulunan 500×500×1500 mm deney odasına sahip rüzgâr tüneline yapılmıştır. Deneyler için 1:13 ölçekli traktör modelleri hazırlanmıştır. Ölçek oranının sebebi rüzgâr tüneli blokaj oranını literatürde önerilen 0,1 değerinde tutmaktır (Çengel & Cimbala, 2018). Rüzgâr tüneline; 5,6, 11,1, 16,7, 22,2, 27,8 ve 33,3 m/s olmak üzere 6 farklı serbest akış hızında model traktörün simetri ekseninde statik basınç dağılımı belirlenmiştir. Ayrıca bir yük hücresi kullanılarak F_D ölçülmüştür. Deneysel çalışmalarda kullanılan traktör geometrisi ve formu, Erkunt marka Nimet 75E serisi traktörden uyarlanmıştır.

Ölçekli olarak üretilen traktör modeline ait bir örnek görsel ve ölçüleri Şekil 3'de sunulmuştur. Şekil 4'te ise ölçeklenmemiş durumdaki traktör geometrilerinin seyir doğrultusuna göre ön izdüşüm alanlarının değişimi gösterilmiştir. Burada amaç, ölçülen F_D değerleri boyutsuz hale getirilip C_D olarak ifade edilirken kullanılan izdüşüm

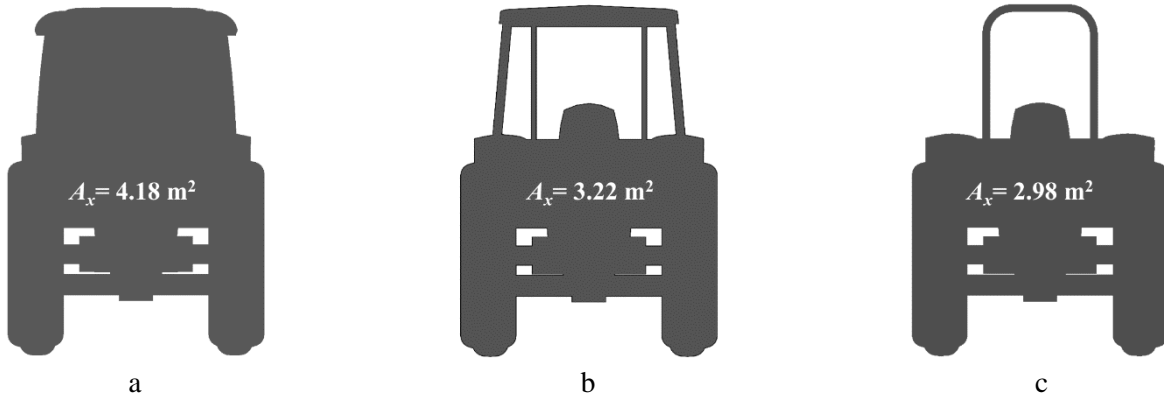
alanındaki değişimi vurgulamaktır. Aslında geometri değişimlerinin mutlak etkisini karşılaştırmak için F_D kullanmak gerekir. Çünkü enerji tüketimine neden olan fiziksel olgu F_D 'dir. Fakat sonuçların gerçek boyutlara ekstrapolasyonu ve sonuçların bir geometri tipi için evrenselleştirilmesi için de C_D gereklidir. Yine de okuyucunun kıyasları C_D üzerinden yapması durumunda, farklı ön izdüşümlerine göre hesaplanan C_D değerlerinin yanıltıcı olacağı hatırlatılmalıdır. Bu noktada C_D 'nin F_D 'den nasıl çekildiği denklem (1) ile aşağıda gösterilmiştir.

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

Eşitlik (1)'de A_x hava akış yönüne dik model kesit alanını (m^2) ve ρ hava yoğunluğunu (kg/m^3) göstermektedir. Kullanılan rüzgâr tünelinin bir görseli Şekil 5'te sunulmaktadır. Aynı rüzgâr tünelinin şematik tanımı ise Şekil 6'da verilmiştir.



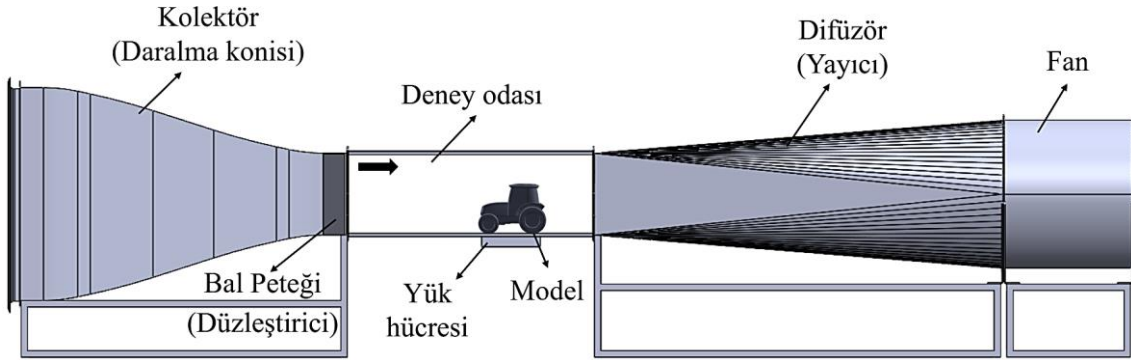
Şekil 3. a. Üç Boyutlu Eklemeli İmalat Yöntemiyle Üretilmiş Bir Ölçekli Model Görseli. b. 1:13 Ölçeğindeki Modelin Ölçüleri



Şekil 4. a. Kabinli Geometri. b. Platformlu Geometri. c. Koruma Çubuklu Geometri.

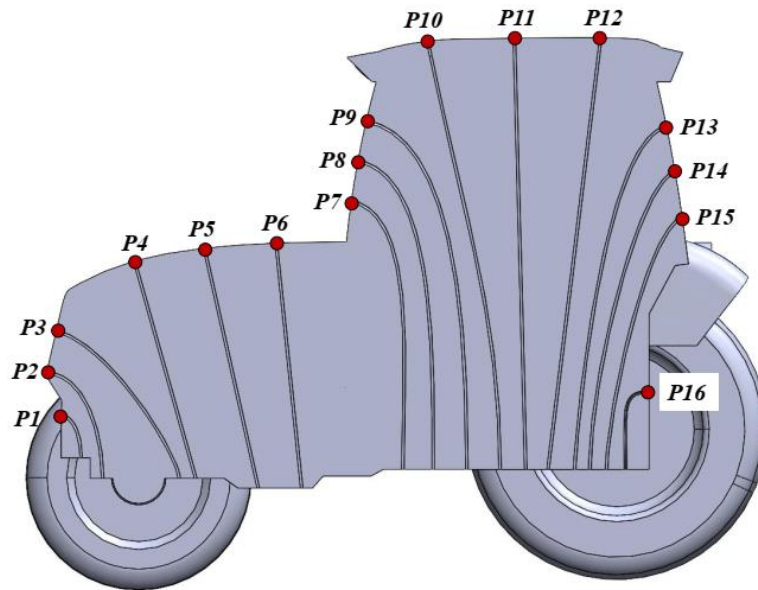


Şekil 5. Rüzgâr Tüneline Dair Görsel



Şekil 6. Rüzgâr Tünelinin Şematik Tarifi

Deneyleri yapılan modellerde simetri ekseninde basınç dağılımının belirlenebilmesi için Şekil 8'deki gibi bir tasarım yapılmıştır.



Şekil 7. Basınç Ölçme Deliklerinin Dağılımı

Basınç ölçüm sonuçlarının boyutsuz basınç katsayısı (C_p) cinsinden gösterimi eşitlik (2)'de sunulmuştur.

$$C_p = \frac{2P}{\rho V^2} \quad (2)$$

Eşitlik 2'deki P sembolü model üzerinde herhangi bir noktadaki statik basınç değerini (Pa) göstermektedir. Re 'nin hesaplanmasında (3) nolu ifadeden faydalanılmıştır. Bütün veri indirgeme ve hesaplama adımlarında havanın viskozitesi ve yoğunluğu değerleri, deneylerin yapıldığı sırada ölçülen atmosfer basıncına ve sıcaklığına bağlı değerler termodinamik tablolardan ve ifadelerden çekilmiştir.

$$Re = \frac{V \rho L_c}{\mu} \quad (3)$$

Eşitlik (3)'de yer alan L_c karakteristik uzunluğu ifade etmektedir ve eşitlik (4)'te yer alan eşdeğer hidrolik çap kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca μ dinamik viskoziteyi (kg/ms) göstermektedir. Doğrudan izdüşüm alanının karekökünü almak da benzer bir sonuç vermektedir çünkü traktör geometrisinin izdüşüm alanı 1 değerine yakın en-boy oranı ile dikdörtgene yakındır.

$$L_c = D_h = \frac{4A_x}{P_A} \quad (4)$$

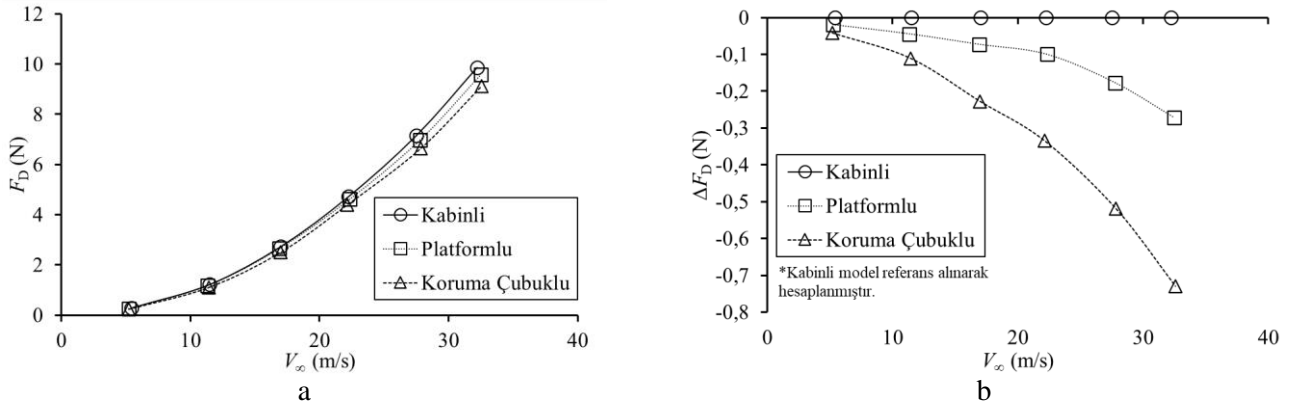
Eşitlik (4)'te gösterilen P_A ön izdüşüm alanının çevresidir (m). Veri indirgeme ve hesaplamalarda kullanılan hava hızı ölçümü için sıcak tel hız ölçümü kullanılmıştır. Traktör modelinin yukarı akımında, akış düzleştirici bal peteğinden sonra kanalın orta noktasına uzanan akışa dik sıcak tel sondası ile ölçülen hız değeri hesaplamalarda ve sonuçlarda kullanılmıştır. Kuvvet ölçümünde üç eksenli bir yük hücresinden faydalanılmıştır. Basınç ölçümü için ise basınç deliği sayısı kadar basınç ölçer kullanılmıştır. Fark basınç ölçerlerin bir ucu atmosfere açık bırakılmıştır. Böylece basınç sensörlerinden gösterge basınç değerleri okunmuştur. Ölçümler bir PLC ile kayıt altına alınmış ve ayrıca bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Veri indirgemedede kullanılan değerler için deney sırasında kararlı rejimde yaklaşık 120 saniyelik süre boyunca okunan değerlerin zaman ortalaması alınmıştır. Ölçümler 1 saniyelik aralıklarla kaydedilmiştir. Sensörlerin 1 saniyelik cevap süreleri içinde kendi içindeki okumaları PLC tarafından ortalananmaktadır. PLC aynı zamanda hava hızının ayarlanmasında kullanılan fan motorunu da kontrol etmektedir ve elektrik motorunu bir sürücü vasıtasıyla sürmektedir.

Yapılan deneysel çalışmanın belirsizliği kuvvet ölçümünde %0,01, hız ölçümünde %3,62-6,69 ve C_D hesabında %7,36-13,45 aralıklarında bulunmuştur. Ölçülen parametrenin değeri küçüldükçe bağlı belirsizlik artmaktadır. Burada, belirsizliğin standart sapmadan farklı olduğu, bu çalışmadaki deneysel tekrerrürlerde standart sapmanın sifıra yaklaştığı ve dolayısıyla karşılaştırmalı sonuçların güvenilir olduğu vurgulanmalıdır. Belirsizlik, mutlak değerler cinsinden farklı bir tesiste yapılacak deneylerde elde edilebilecek sonuçlarla mevcut sonuçlar arasındaki yüzde fark gibi düşünülmelidir. Deneysel belirsizlik hesabı Holman (2011)'a göre yapılmıştır.

Rüzgâr tüneli deneylerinde tünelde elde edilebilen asgari ve azami hızlar arasında 6 farklı hızda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Veri indirgeme ile boyutsuz parametreler hesaplanmış ve özellikle C_D 'nin Re 'den bağımsız hale geldiği, diğer bir deyişle Re artsa da sabit kaldığı aralığın elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef gerçekleştiği için ilave önlemlere gerek kalmamıştır. Elde edilen C_D 'nin kullanılmasıyla gerçek boyuttaki traktörlere etkiyecek F_D 'nin hesaplanması mümkün olmaktadır. Diğer taraftan F_D 'nin ölçekli modellerde karşılaştırmalı yorumlarda kullanılması, geometrilerin etkisi açısından önemli ve gereklidir. Benzer şekilde basınç ölçüm sonuçları farklı hızlarda farklı mutlak değerler almasına rağmen C_p 'nin Re bağımsızlığından sonra neredeyse aynı dağılımı göstermesi hem Re bağımsızlığına bir delil hem de gerçek boyutlu traktörlerdeki mutlak basınç dağılımına ekstrapolasyonda bir araçtır.

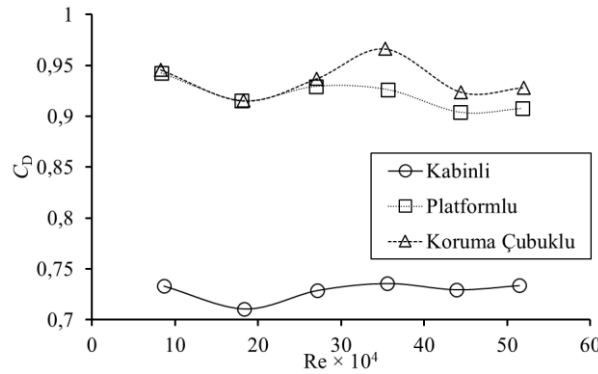
SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde sunulan ilk grafik, incelenen ölçekli modellerin farklı rüzgâr tüneli hava akım hızlarında maruz kaldıkları hava direnci kuvvetinin değişimidir ve Şekil 8'de sunulmuştur. Şekil 8'de sunulan iki grafikten soldaki mutlak kuvvet değerlerini gösterirken sağdaki grafik kabinli traktör temel alınarak diğer modellerde oluşan kuvvetlerin farklarını göstermektedir.



Şekil 8. a. Ölçekli Modellerin Maruz Kaldıkları Hava Direnci Değerlerinin Rüzgâr Tüneli Hava Akım Hızıyla Değişimi. **b.** Kabinli Traktör Modeli Temel Alınarak Diğer Modellerde Gerçekleşen Kuvvet Farkları

Şekil 8 incelendiğinde artan seyir hızı ile traktör modelleri arasındaki aerodinamik direnç kuvveti farkının arttığı görülmektedir. En büyük aerodinamik direnç kuvveti kabinli traktörde gerçekleşirken platformlu modelde direnç değeri bir miktar azalmakta ve en düşük direnç kuvvetleri koruma çubuklu modelde görülmektedir. Bu durumun sebebi akışa dik izdüşüm alanındaki azalma olarak yorumlanabilir. Bu noktada küçük kuvvet farklarının mutlak değerleri okuyucuyu yanıltmamalıdır. Traktör modelleri ölçekli olduğu için bu küçük mutlak değerler oluşmaktadır. Gerçek boyutlu traktörlerde oluşacak farkların kabaca 13 kat daha fazla olacağı öngörülebilir. Bu durumla ilgili bir hesaplama yazının devamında verilmiştir. Kuvvetin hava hızı ile doğrusal olmayan artışı, diğer bir ifade ile üstel artışının sebebi akışın hızın karesiyle orantılı olarak artan kinetik enerjisidir. Eşitlik (1) incelenerek bu durum daha iyi anlaşılabilir. Bu noktada C_D 'nin değişiminin de sonuca etkisi olacağı fikri oluşabilir. Şekil 9'da C_D 'nin Re ile değişimi sunulmuştur. Görüldüğü üzere C_D değerleri Re ile bariz bir şekilde değişmemekte, başka bir ifade ile Re 'den bağımsız sabit bir değere sahip olmaktadır. F_D değerleri yakın mutlak değerler alırken traktör modellerinin ön izdüşüm alanları büyük ölçüde değiştiği için C_D değerleri arasında farklılıklar bulunmaktadır fakat daha önce de izah edildiği üzere burada önemli olan C_D 'nin Re 'ye göre davranışını tespit etmektir. C_D değerleri gerçek boyutlu traktörün belirli bir hızdaki F_D değerini bulmakta kullanılabilir. Artan Re 'ye rağmen C_D değerleri neredeyse sabit kalmaktadır. Gerçek boyutlu traktörlerde seyir halindeki Re değerleri 10^6 mertebesinde olduğu için C_D değerleri bu çalışmada tespit edilen ortalama bir değer olarak alınabilir.



Şekil 9. C_D 'nin Re ile Değişimi

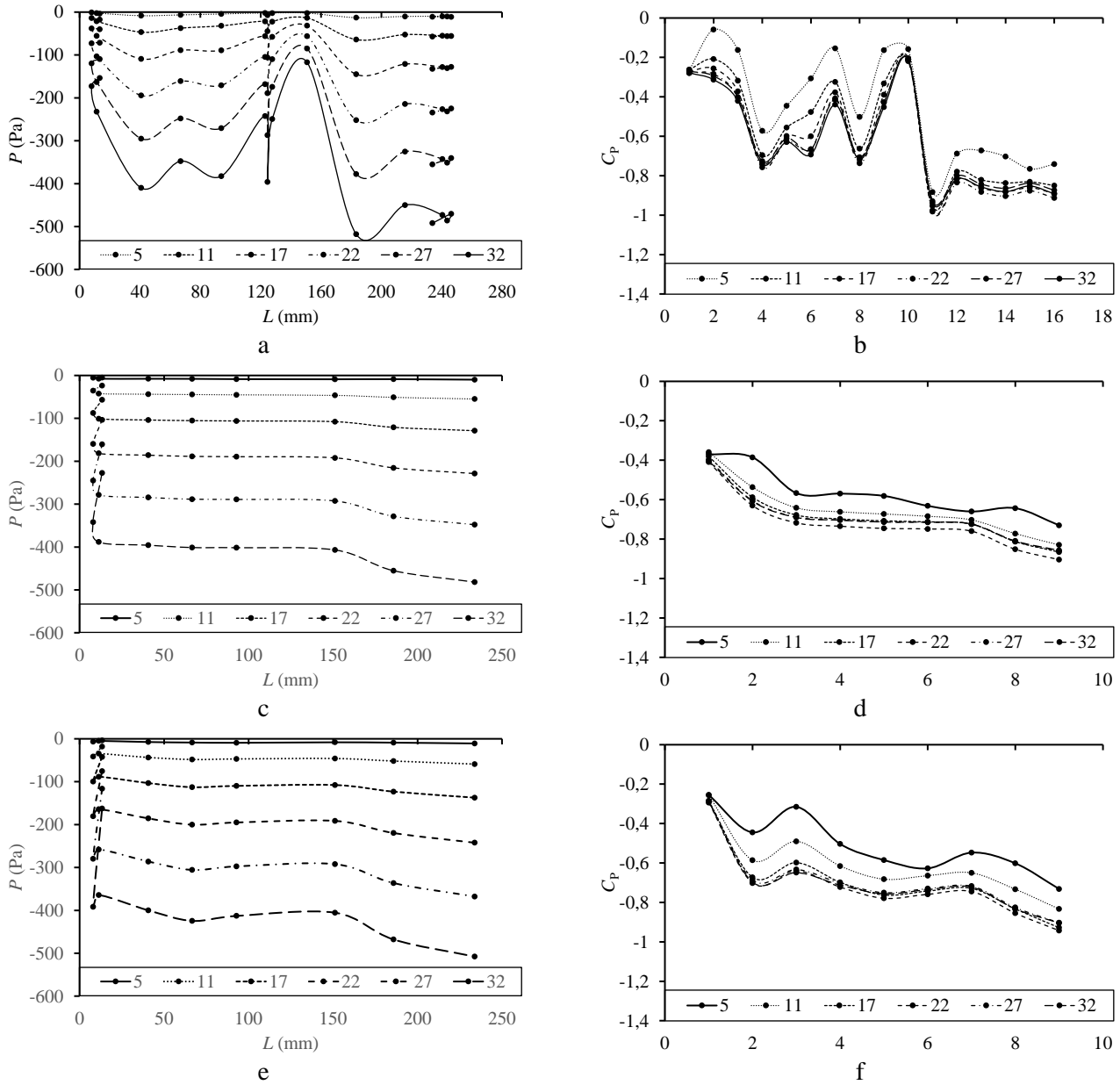
Şekil 8 ve 9 beraber yorumlandığında C_D değerlerinin sabit olduğu kabulüyle F_D değerlerindeki üstel artışın sadece hız artışından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Ayrıca C_D değerlerinin incelenen aralıkta ve artan Re değerlerine bağlı olarak neredeyse sabit kalması, traktör modelleri ve geometrisi etrafındaki akış şablonunun değişmediğini, sadece etkisinin mutlak değerinin arttığını göstermektedir. Geometriler arasındaki kuvvet farkının mutlak değeri hız arttıkça artmasına rağmen aslında yüzdesel olarak azalmaktadır. Kabinli traktöre kıyasla platformlu traktördeki kuvvet farkı düşük hızlarda %7 iken hız arttıkça %3'e düşmektedir. Benzer şekilde kabinli model ile koruma çubuklu model kıyaslandığında düşük hızlardaki kuvvet farkı %15 iken hız arttıkça fark %7'ye inmektedir. Bununla birlikte aerodinamik direnç kaynaklı yakıt tüketiminin, azalan oransal değere rağmen yüksek hızlarda F_D 'nin artan mutlak

değeri nedeniyle artacağı unutulmamalıdır. C_D 'nin ortalama değerleri kabinli traktör için 0,73, platformlu traktör için 0,92 ve koruma çubuklu traktör modeli için 0,94 olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla 40 km/h sabit seyir hızıyla seyreden gerçek boyutlardaki traktörlerde sırasıyla kabinli, platformlu ve koruma çubuklu traktörlerde 230,74 N, 224,01 N ve 211,82 N aerodinamik direnç kuvveti oluşacaktır. Bu noktada kabinin sağladığı iş güvenliğinin görece az miktardaki direnç artışı karşılığında düşünülebilir. Diğer taraftan kabinin iz düşüm alanını %40 gibi büyük bir oranda arttırmasına rağmen neden aerodinamik direnç kuvvetini çok az arttırdığı sorulabilir. İz düşüm alanı şekil kaynaklı basınç farkından ortaya çıkan aerodinamik direnç kuvvetini oluşturan bir çarpandır fakat aerodinamik direnç kuvvetinin bir diğer bileşeni ise sürtünme kaynaklı direnç kuvvetidir. Kabin olmadığı durumda kullanıcı mahallinde akışa maruz kalan yüzey alanı önemli ölçüde büyümektedir. Böylece hava sürtünmesi kaynaklı sürtünme kuvvetinin oluştuğu yüzey büyümektedir. Ayrıca sürücü bölümündeki yüzey topolojisi büyük değişiklikler göstermektedir. Son olarak sürücü bölümü bir paraşüt benzeri etki oluşturacak şekilde bir boşluk bölümü oluşturmaktadır. Bu bölümde yüksek basınç bölgeleri oluşacağı için aerodinamik direnç kuvvetine katkı oluşacaktır. Yine de bu değerlendirmelerin ölçülen basınç dağılımı sonuçları dikkate alınarak gözden geçirilmesi gerekir.

Şekil 10'da ölçülen basınç dağılımları ve buna göre hesaplanan C_P değerleri, okuma kolaylığı açısından, 6 farklı grafikte sunulmaktadır. Durgun havaya göre akış halindeki havada dinamik basınca dönüşen toplam basıncın değerinden dolayı fark basınç sensörleri negatif gösterge basınç, yani vakum ölçmektedir. Basınç dağılımları traktör modellerinde ölçüm deliğinin konumuna göre çizdirilmiştir. Kabinli traktör modelinde 18 adet delik bulunurken kabin bulunmayan geometrilere 9 adet ölçüm deliği bulunmaktadır. C_P değerlerinin dağılımında ise grafikler delik numarasına göre çizdirilerek daha rahat bir okuma amaçlanmıştır.

Şekil 10 incelenirken bazı hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Öncelikle basınç dağılım grafiklerindeki eğrilerin hava akış hızları ile isimlendirildiği ifade edilmelidir. Traktör modellerinin burun kısmından başlayarak aşağı akım yönünde traktörlerin simetri eksenini ile traktörün üst yüzeylerinin kesişimine açılan deliklerin akış doğrultusundaki konumları milimetre cinsinden ölçülmüş ve buralardaki vakum değerleri kaydedilmiştir. Test sırasındaki hava akış hızı büyüdükçe toplam basınçtan dinamik basınca dönüşen miktar artmakta ve dolayısıyla vakum değeri de mutlak değer olarak artmaktadır. Basınç dağılımı bütün traktör yüzeyinde okunabilseydi, bu dağılımın yüzey integrali de aslında aerodinamik direnç kuvvetini verecekti. Fakat sadece simetri ekseninde bir basınç dağılımı ölçümü yapıldığı için burada daha çok niteliksel bir değerlendirme yapmak daha uygun olacaktır. Basınç dağılımları mutlak değerleri hava artış hızıyla büyük oranda değişmektedir. Fakat eğrilerin değişim davranışlarının benzer olduğu görülmektedir. Bu durum traktör modelleri etrafındaki akışın test edilen her hava akış hızında aynı şekilde davrandığını düşündürmektedir. Dolayısıyla artan hava akış hızı aslında sadece yüzeye etki eden basıncın mutlak değerini arttırmaktadır. Kabinli traktörde akışa daha dik çıkan yüzeylerde vakum değerlerinin en küçük mutlak değerleri aldığı, akışa paralel yüzeylerde vakumun arttığı ve traktörün arka yüzeylerinde ise en büyük vakum değerlerinin oluştuğu görülmektedir. Kabinli traktörde motorun bulunduğu kısma denk gelen bölümde yüzeye etki eden basıncın yaklaşık olarak yola doğru bir kuvvet vektörü oluşturacağı düşünülürse, burun ve kabin ön cam kısımlarında traktör artizi bölgesine doğru yönlenecek kuvvet vektörlerinin traktörün artizindeki yüksek vakum nedeniyle eşdeğerde karşılanamayacağı ve dolayısıyla akış doğrultusunda traktör modeline net bir kuvvet etki edeceği anlaşılmaktadır. Böylece deneylerde okunan aerodinamik direnç kuvvetinin fiziksel nedeni basınç dağılımı ile gösterilmiş olmaktadır. Diğer taraftan platformlu ve koruma çubuklu modellerde kabin kısmındaki düşük vakum değeri oluşmadığı için net aerodinamik kuvvetin daha düşük oluşacağı anlaşılr.

Boyutsuz basınç olan C_P grafiklerinin basınç ölçüm deliklerinin sırasına göre çizdirildiği grafiklerde esas anlaşılacak istenen Re bağımsızlığının sağlanıp sağlanmadığıdır. Çünkü hava akış hızının ortalama değeri kullanılarak hesaplanan dinamik basınç değerine göre normalleştirilen basınç ölçümleri grafikte eş ölçekte gösterilebilmektedir. Boyutsuzlaştırılmamış basınç dağılımlarında farklı hava akış hızları farklı büyüklük mertebelerinde mutlak değerlere neden olmaktadır. Bu nedenle boyutsuzlaştırılmamış sonuçlardaki eğrilerin davranışları net olarak okunamamaktadır. Bu durum özellikle düşük hava hızları için böyledir. Fakat boyutsuzlaştırılmış basınç dağılımlarında, yani C_P grafiklerinde sayısal değerler aynı mertebededir. Böylece eğriler arasında niteliksel bir karşılaştırma yapılabilmektedir. Re bağımsızlığının sağlandığı durumda C_P eğrilerinin üst üste çakışması beklenir. Çünkü C_D değişmemektedir. Gerçekten de yüksek hava akış hızlarında elde edilen eğrilerin hemen hemen çakıştığı görülmektedir. Böylece deneysel Re aralığında elde edilen C_D değerlerinin Re 'den bağımsız hale geldiği C_P grafikleriyle gösterilmiş olmaktadır. Kabinli modeldeki C_P dalgalanmalarının sebebi akış ayrılmaları ve daha sonra ayrılan akışın yeniden yüzeye tutunup konuma bağlı ivmelenmesidir. Diğer modellerde bu davranış kısmen sadece traktör burun geometrilerinde görülmektedir.



Şekil 10. Basınç Dağılımları ve Hesaplanan C_p Değerleri; Basınç Dağılım Grafikleri Basınç Ölçüm Noktasının Traktör Modelinin Burun Kısmından Başlayarak Art Akım Yönüne Doğru Mesafesine Göre Çizilirken C_p Değerleri Ölçüm Noktası Etiketine Göre Çizilmiştir. **a.** Kabinli Traktör Modeli Basınç Dağılımı **b.** Kabinli Traktör Modeli C_p Değerleri **c.** Platformlu Traktör Modeli Basınç Dağılımı **d.** Platformlu Traktör Modeli C_p Değerleri **e.** Koruma Çubuklu Traktör Modeli Basınç Dağılımı **f.** Koruma Çubuklu Traktör Modeli C_p Değerleri

SONUÇ

Bu çalışmada tarımsal traktörlerin yol içi taşımacılıkta maruz kaldıkları aerodinamik direnç kuvvetinin değeri ve bu değerinin kullanıcı bölümünün tasarımına göre nasıl değişeceği deneysel bir yaklaşım ile incelenmiştir. Deneysel yaklaşımda 3 adet ölçekli traktör modelinden faydalanılmış ve 1:10 blokaj oranına sahip bir rüzgâr tüneli teşkil edilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde aerodinamik direnç kuvveti, rüzgâr tüneli hava akış hızı ve traktör modellerinin simetri eksenindeki basınç dağılımları ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar daha sonra boyutsuzlaştırılarak genelleştirilmiştir. Özellikle aerodinamik direnç katsayısı Re 'den bağımsız halde elde edilerek gerçek boyuttaki traktörlerin yol içi taşımacılıkta maruz kalacakları aerodinamik direnç kuvvetinin tespitine imkân tanıyacak bir veri üretilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda kabin yapısının aerodinamik direnci arttırdığı tespit edilmiştir. Düşük hızlarda kabinli traktör modelleri ile diğer modeller arasındaki aerodinamik direnç farklı yüzdesi daha fazla iken hava hızı arttıkça

bu oran azalmaktadır. Fakat aerodinamik direnç kuvvetinin mutlak değerleri ve dolayısıyla kuvvet farkının mutlak değeri dikkate alındığında düşük hızlarda fark küçükken yüksek hızlarda üssel olarak fark artmaktadır. Dolayısıyla kabinin aerodinamik kaynaklı yakıt tüketiminde ne kadar artışa yol açacağı değerlendirilirken nispeten yüksek yol içi taşımacılık hızlarına odaklanılmalıdır. Böyle bir araştırmaya imkân tanıyacak aerodinamik direnç katsayısı değerleri çalışma içinde sunulmuştur. Çalışmada sunulan başlıca bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Kabinli traktöre kıyasla platformlu traktördeki kuvvet farkı düşük hızlarda %7 iken hız arttıkça %3'e düşmektedir.
- Kabinli model ile koruma çubuklu model kıyaslandığında düşük hızlardaki kuvvet farkı %15 iken hız arttıkça fark %7'ye inmektedir.
- C_D 'nin ortalama değerleri kabinli traktör için 0,73, platformlu traktör için 0,92 ve koruma çubuklu traktör modeli için 0,94 olduğu tespit edilmiştir.
- 40 km/h sabit seyir hızıyla seyreden gerçek boyutlardaki traktörlerde kabinli, platformlu ve koruma çubuklu traktörlerde sırasıyla 230,74 N, 224,01 N ve 211,82 N aerodinamik direnç kuvveti oluşacaktır.
- Kabinin sağladığı iş güvenliği dikkate alındığında aerodinamik direnç artışı kabul edilebilir görünmektedir. Kabin hava akış doğrultusuna göre ön iz düşüm alanını yaklaşık %40 arttırmasına rağmen yaklaşık 5 kat daha az aerodinamik kaynaklı direnç artışı oluşmaktadır.
- Aerodinamik direnç kuvvetleri basınç dağılımı grafikleri ile fiziksel olarak açıklanabilmektedir. Ayrıca Re bağımsızlığı da C_P dağılımlarıyla doğrulanabilmektedir.

Gelecekte gerçek işletme koşullarına daha fazla yaklaşabilmek için hem deneysel süreçlerde hem de HAD süreçlerinde traktörde basitleştirilen yüzeylerin orijinallerine yaklaştırılması, motor bölümündeki gözenekliliğin ve hava alıcıların eklenmesi, tekerlerin ve yolun bağlı hareketinin değerlendirmeye alınması, deneysel sonuçların HAD doğrulanmasında kullanılması ve HAD yaklaşımlarının geliştirilmesi, zamana bağlı değişimlerin aydınlatılması, traktörlerle birlikte taşımacılıkta kullanılan tarım arabalarının da değerlendirilmeye katılması gibi konuların çalışılması önerilmekte ve öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca kabul edilen 08-M21 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Çalışma aynı zamanda kısmi olarak Hanifi Küçüksarıyıldız'ın doktora tez çalışmasından faydalanmaktadır. Yardımlarından dolayı araştırmacılar Erkunt Traktör A.Ş. firmasına teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Ahmed, S. R., Ramm, G., & Faltin, G. (1984). Some salient features of the time-averaged ground vehicle wake. *SAE transactions*, 473-503.
- Altıntaş, N. (2015). *Eskişehir İli Tarım İşletmelerinde Traktör Kullanımının Ekonomik Analizi*. (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Anonim. (2022). *Tarım Makine Sanayi Etkileşimi Raporu*. Retrieved from Ankara, Türkiye: <https://tarmakbir.org/raporlar/>
- Bauskar, M. P., Dhande, D. Y., Vadgeri, S., & Patil, S. R. (2019). Study of aerodynamic drag of sports utility vehicle by experimental and numerical method. *Materials Today: Proceedings*, 16, 750-757.
- Bayındırlı, C. (2015). *Çekici ve Çekici Römork Kombinasyonlarında Aerodinamik Dirençlerin İncelenmesi*. (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bayındırlı, C., Çelik, M., & Demiralp, M. (2018). Bir otobüs modeli etrafındaki akış yapısının CFD yöntemi ile incelenmesi ve sürüklenme kuvvetinin pasif akış kontrol yöntemi ile iyileştirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 21(4), 785-795.
- Biswas, K., Gadekar, G., & Chalipat, S. (2019). *Development and Prediction of Vehicle Drag Coefficient Using OpenFoam CFD Tool* (0148-7191). Retrieved from India:

- Canlı, E., Küçüksarıyıldız, H., & Çarman, K. (2022). Impact assessment of new generation high-speed agricultural tractor aerodynamics on transportation fuel consumption and related phenomena. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 6658-6680.
- Chilbule, C., Upadhyay, A., & Mukkamala, Y. (2014). Analyzing the profile modification of truck-trailer to prune the aerodynamic drag and its repercussion on fuel consumption. *Procedia Engineering*, 97, 1208-1219.
- Chowdhury, H., Juwono, R., Zaid, M., Islam, R., Loganathan, B., & Alam, F. (2019). An experimental study on of the effect of various deflectors used for light trucks in Indian subcontinent. *Energy Procedia*, 160, 34-39.
- Cogotti, F., Pfadenhauer, M., & Wiegand, T. (2017). *Potential of Porsche reference cars for aerodynamic development*. Paper presented at the FKFS Conference.
- Cooper, K. R. (2004). Commercial vehicle aerodynamic drag reduction: historical perspective as a guide. In *The Aerodynamics of Heavy Vehicles: Trucks, Buses, and Trains* (pp. 9-28): Springer.
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). *Akışkanlar mekaniği: Temelleri ve uygulamaları* (T. Engin Ed. 3 ed. Vol. 3). Palme Yayınevi: Ankara.
- Dallessio, L., Duncan, B., Chang, C., Gargoloff, J. I., & Tate, E. (2017). Accurate Fuel Economy Prediction via a Realistic Wind Averaged Drag Coefficient. *SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems*, 10(1), 265-278.
- Drollinger, R. A. (1987). *Heavy duty truck aerodynamics* (0148-7191). Retrieved from SAE Technical Paper, No:870001, USA:
- El Gaouti, Y., Colin, G., Thiam, B., & Mazellier, N. (2021). Online vehicle aerodynamic drag observer with Kalman filters. *IFAC-PapersOnLine*, 54(2), 51-56.
- Gulavani, R. A., Chalipat, S., Dighe, A., & Anwar, F. (2019). *External Aerodynamic Drag Coefficient Prediction of Full Scale Passenger Car Based on Scale Model Assessment* (0148-7191). Retrieved from
- Hol, P. A., & Agrewale, M. R. (2019). *Aerodynamic analysis of passenger car with luggage carrier (roof rack)* (0148-7191). Retrieved from SAE Technical Paper, 2019-26-0067, India:
- Holman, J. P. (2011). *Experimental methods for engineers* (8 th ed.). The McGraw-Hill Companies, Inc. : Americas, New York.
- Hsu, M.-C., Wang, C., Xu, F., Herrema, A. J., & Krishnamurthy, A. (2016). Direct immersogeometric fluid flow analysis using B-rep CAD models. *Computer Aided Geometric Design*, 43, 143-158.
- Hucho, W.-H. (1990). *Aerodynamics of road vehicles: from fluid mechanics to vehicle engineering*. Butterworth-Heinemann, London, England.
- İleri, M. S. (2023). *Tarım Makineleri Endüstrisi Sektör İstatistikleri Raporu*. Retrieved from Ankara, Türkiye: <https://tarmakbir.org/wp-content/uploads/2023/02/tarmekstat022023sum.pdf>
- Jacuzzi, E., & Granlund, K. (2019). Passive flow control for drag reduction in vehicle platoons. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 189, 104-117.
- Karakulak, S. S., & Yetkin, E. (2020). Agricultural Tractor Cabin Safety Analysis and Test Correlation. *International Journal of Automotive Science And Technology*, 4(1), 1-9.
- Kumar, A., Mahajan, A., Prasanth, S., Darekar, S., Chellan, J., Kumar, K. A., & Kumar, J. K. R. (2015). *Agricultural tractor cabin structure design for durability and rollover protective structure test* (0148-7191). Retrieved from
- Martini, H., Bergqvist, B., Hjelm, L., & Löfdahl, L. (2011). *Influence of different truck and trailer combinations on the aerodynamic drag* (0148-7191). Retrieved from
- Mattetti, M., Maraldi, M., Lenzini, N., Fiorati, S., Sereni, E., & Molari, G. (2021). Outlining the mission profile of agricultural tractors through CAN-BUS data analytics. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184, 106078.
- McAuliffe, B. (2015). Improving the aerodynamic efficiency of heavy duty vehicles: Wind tunnel test results of trailer-based drag-reduction technologies. *Report, National Research Council Canada. Aerospace*, 1-87.
- Mederle, M., Urban, A., Fischer, H., Hufnagel, U., & Bernhardt, H. (2015). Optimization potential of a standard tractor in road transportation. *landtechnik*, 70(5), 194-202.

- Modi, V., Hill, S. S., & Yokomizo, T. (1995). Drag reduction of trucks through boundary-layer control. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 54, 583-594.
- Oh, J., Choi, K., Son, G.-h., Park, Y.-J., Kang, Y.-S., & Kim, Y.-J. (2020). Flow analysis inside tractor cabin for determining air conditioner vent location. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169, 105199.
- Palanivendhan, M., Chandradass, J., Saravanan, C., Philip, J., & Sharan, R. (2021). Reduction in aerodynamic drag acting on a commercial vehicle by using a dimpled surface. *Materials Today: Proceedings*, 45, 7072-7078.
- Patidar, A., Gupta, U., & Bansal, A. (2015). *Fuel Efficiency Improvement of Commercial Vehicle by Investigating Drag Resistance* (0148-7191). Retrieved from SAE Technical Paper, 2015-01-2893, India:
- Peng, J., Wang, T., Yang, T., Sun, X., & Li, G. (2018). Research on the aerodynamic characteristics of tractor-trailers with a parametric cab design. *Applied Sciences*, 8(5), 791.
- Saleh, Z., & Ali, A. (2020). *Numerical Investigation of Drag Reduction Techniques in a Car Model*. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Sivaraj, G., Parammasivam, K., & Suganya, G. (2018). Reduction of aerodynamic drag force for reducing fuel consumption in road vehicle using basebleed. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 11(6), 1489-1495.
- Urquhart, M., Varney, M., Sebben, S., & Passmore, M. (2020). Aerodynamic drag improvements on a square-back vehicle at yaw using a tapered cavity and asymmetric flaps. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 86, 108737.
- Van Raemdonck, G. M., & Van Tooren, M. J. (2008). *Design of an Aerodynamic Aid for the Underbody of a Trailer within a Tractor-Trailer Combination*. Paper presented at the BBAA VI International Colloquium on Bluff Bodies Aerodynamics & Applications, Milano, Italy.
- Vignesh, S., Gangad, V. S., Jishnu, V., Krishna, A., & Mukkamala, Y. S. (2019). Windscreen angle and Hood inclination optimization for drag reduction in cars. *Procedia Manufacturing*, 30, 685-692.
- Wong, J. Y. (2008). *Theory of ground vehicles* (4th ed.). John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, New Jersey.
- Wood, R. M., & Bauer, S. X. (2003). Simple and low-cost aerodynamic drag reduction devices for tractor-trailer trucks. *SAE transactions*, 143-160.
- Xu, F., Schillinger, D., Kamensky, D., Varduhn, V., Wang, C., & Hsu, M.-C. (2016). The tetrahedral finite cell method for fluids: Immersogeometric analysis of turbulent flow around complex geometries. *Computers & Fluids*, 141, 135-154.
- Zheng, E., Zhong, X., Zhu, R., Xue, J., Cui, S., Gao, H., & Lin, X. (2019). Investigation into the vibration characteristics of agricultural wheeled tractor-implement system with hydro-pneumatic suspension on the front axle. *Biosystems Engineering*, 186, 14-33.