

KARA TAŞITLARININ AERODİNAMİK BAKIMDAN İNCELENMESİ

Murat Arda ÇAKMAK *

TÜBİTAK SAGE

ÖZET

Bu makalede hareket halindeki motorlu kara taşıtlarına etkiyen aerodinamik kuvvetler ve etkileri ayrıntılı olarak irdelenerek bunların rüzgar tüneli deneyleriyle incelenmesi ve aracın tasarımında oynadıkları rol hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Sözcükler

Aerodinamik etki, motorlu araç, rüzgar tüneli

SUMMARY

In this paper aerodynamics of road vehicles and their effects on vehicle design and wind tunnel tests are mentioned.

Key Word

Aerodynamic effects, road vehicle, wind tunnel

GİRİŞ

Motorlu kara taşıtlarının tasarım ve geliştirme çalışmaları sırasında birçok parametrenin yanında aerodinamik etkilerin de göz önünde bulundurulması bir zorunluluktur. Kara taşıtlarının aerodinamik özelliklerinin incelenebilmesi için üç yöntem vardır. Bunlar gerçek yol koşullarında yapılan deneyler, sayısal analiz çalışmaları ve rüzgar tüneli deneyleridir. Günümüzde rüzgar tüneli deneyleri daha ucuz, güvenilir, hızlı ve kolay olduğundan tercih edilmektedir. Rüzgar tünellerinde değişik sistemlerin yardımıyla aracın yol şartlarındaki durumunu yapay olarak yaratmak mümkündür.

Rüzgar tünelleri; cisimlerin hava ile etkileşimini belirlemekte kullanılan deneysel çalışma ortamları olarak tanımlanır. Deneysel çalışma; güvenli, çabuk ve gerçeğine göre daha ucuz olarak, yapılan tasarımların uygunluğunu görebilmek ve geliştirebilmek için gereklidir. Deneysel çalışmalar, teorik, gerçek yol koşullardaki deneyler ya da sayısal analiz çalışmaları ile karşılaştırılabilmekte ve sayısal analiz çalışmaları için bir bilgi bankası oluşturmada kullanılmaktadır.

Bir motorlu kara taşıtının performansı, idaresi ve konforu aerodinamik özelliklerinden büyük ölçüde etkilenir. Motorlu kara taşıtlarının aerodinamik özelliklerinin etkileri iki temel kategoride incelenir (Şekil 1). Bunlar;

Performans ve dengeye etkisi;

Yakıt tüketimine ve ivmelenme özelliklerine etkileri,

Yol tutuş özelliklerine etkileri,

Diğer etkiler;

Kirlilik etkileri,

Gürültü etkileri,

Harici yük etkileri (yana yana, deflektör, çekici vb.),

Fren sistemine etkileri,

Motor soğutma sistemine etkileri,

Havalandırma sistemine etkileri.

Kara taşıtlarının aerodinamik testlerini yapabilmek için rüzgar tünellerinde belirli şartların sağlanması gerekir. Aracın performansını ve dengesini etkileyen aerodinamik kuvvet ve momentlerin ölçümü sırasında araca etki eden hava akımında değişikliğe yol açabilecek her yol şartının yapay olarak sağlanması gerekir.

Örneğin, tekerleklerin yol üzerindeki hareketi sonucu oluşabilecek hava akımı değişikliklerini benzeştirmek için bazı özel sistemler (hareketli kayış sistemi, tünel alt yüzeyine hava püskürtme sistemi vb.) kullanılmaktadır. Bu sistemler özellikle dış yüzey hava akımı inceleme deneylerinde (örneğin dış yüzey kirlenme ölçüm deneylerinde) tercih edilmektedir. Bu tür deneylerde rüzgar tünelineki akımın kalitesi de önemlidir. Motor soğutma sistemi deneylerinde ise akımın kalitesi çok da önemli olmamakla beraber itici güç, tekerleklerin dönüş hızları ve dışarıdaki havanın sıcaklığı rüzgar tünellerinde mutlaka oluşturulması gereken

temel deney şartlarıdır. Aynı koşullar fren sistemleri ile ilgili deneylerde de sağlanmalıdır. Havalandırma sistemleri deneylerinde ise hava sıcaklığı, nem oranı, güneş ışığı ve motorun termal etkileşiminin büyük hassasiyetle oluşturulabildiği özel iklimsel rüzgar tünelleri kullanılmaktadır.

TAŞITLARDA PERFORMANS VE DENGEE AERODİNAMİĞİN ETKİSİ

Aerodinamik kuvvet ve momentlerin otomobil, kamyon, kamyonet, treyler çekicisi, otobüs, minibüs, midibüs gibi çeşitli kara araçları üzerindeki etkisi birbirinden oldukça farklıdır. Bunlardan hava sürtünme ve kaldırma kuvvetlerinin tüm araçların performansında ve dengesinde önemli etkileri vardır. Başlıca etkiler yakıt tüketiminde, ivmelenme kabiliyetinde ve yol tutuş özelliklerinde görülür.

Taşıtlara Etkiyen Kuvvetler

Aracın çevresinden akıp giden hava araç üstünde çeşitli kuvvetlerin ve momentlerin oluşmasına sebep olur (Şekil 2). Bu kuvvetler ve momentler aşağıda tanımlanmıştır.

Kuvvetler

Hava Sürtünme (Direnc) Kuvveti D

Kaldırma (Taşıma) Kuvveti L

Yanal Kuvvet S

Momentler

Yunuslama Momenti MM

Yuvarlama (Yalpalama) Momenti MR

Yana Kayış (Sapma) Momenti MY

Bu kuvvet ve momentlerin değişik araçlar için karşılaştırılmasında boyutsuz katsayılar kullanılmaktadır.

Aerodinamik Sürtünme (Direnç) Kuvveti

Bu kuvvet hava akımının karakteristiğinden ve aracın aerodinamik özelliğinden kaynaklanır. Şu şekilde tanımlanmıştır;

$$D = 0.5 \rho V^2 C_D$$

Araçlarda oluşan hava sürtünmesi kuvvetini karşılaştırmak için; C_D katsayısı kullanılır. Bu katsayının değeri yakıt tüketiminin belirlenmesinde aracın temel aerodinamik özelliğidir.

Rüzgar tünellerinde yapılan birçok deneyde sürükleme (hava direnç) kuvvetinin en uygun seviyeye çekilmesi amaçlanmaktadır. Sürükleme kuvvetinin minimize edilmesi çok önemli yakıt tasarruflarına sebep olmaktadır. Şekil 3 incelendiği zaman görülmektedir ki günümüz kara taşıtları arasında otobüslerde %40'a, treyler çekicilerinde ise %20'ye varan hava sürtünmesi katsayısı farklılıklarıyla karşılaşmaktadır.

Tekerlek Sürtünme Kuvveti

Bu kuvvet aracın ağırlığına ve aks geometrisine, tekerleklerin şekline ve basıncına bağlıdır. Şu şekilde tanımlanmıştır;

$$R_F = f_r \cdot N_F$$

Bu kuvvet yakıt sarfiyatının yanında aracın ivmelenmesinde en büyük engellerden birini teşkil eder. Yakıt tüketiminin azaltılması için tekerlek ile yol arasındaki etkileşimin minimize edilmesi gerekirken, aracın yol tutuşunun üst seviyede kalması tam tersi bir zorunluluk gerektirir. Dolayısıyla bu kuvvetin etkisi her iki özelliğin sağlanması için en uygun seviyede tutulmalıdır.

Taşıma Kuvveti

Kara taşıtının altından ve üstünden akan havanın basınçlarının farklı olması sonucu aracın hareket yönüne dik bir kaldırma (taşıma) kuvveti (Şekil 4) oluşur. Bu kaldırma kuvvetinin tekerlek ile yol arasındaki sürtünmeye olan etkisi büyüktür. Kaldırma (taşıma) kuvveti,

$$L = 0.5 r V^2 C_L$$

şeklinde hesaplanır.

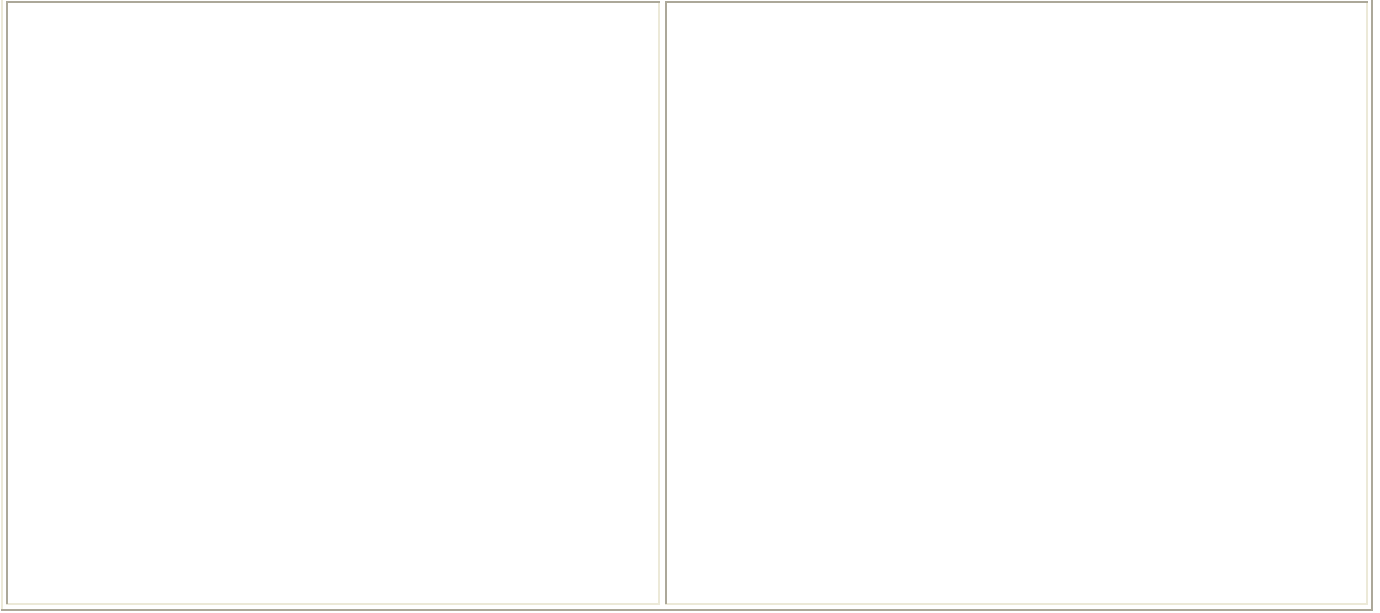
Otobanların sayısının artması ve otomotiv endüstrisinin hızla gelişmesi sonucu otomobiller daha yüksek hızlarda yolculuk etme imkanına kavuşmuşlardır. Bu gelişme beraberinde araçlarda yol tutuş özelliğinde azalmaya sebep olan aerodinamik kaldırma kuvvetini de beraberinde getirmiştir.

Bu nedenle kara taşıtlarının mekanik özelliklerini tasarlarken aerodinamik özelliklerini de iyice incelemek gerekmektedir. Taşıtın özellikle yüksek hızlarda yolu tutuşunun daha fazla olması için taşıma kuvvetinin mümkün olduğunca düşük seviyelerde kalmasını sağlayacak önlemlerin alınması gerekmektedir.

Diğer Etkiler

Bunlar aracı hareket ettirebilmek için üstesinden gelinmesi gereken hareketi engelleyen temel etkilerdir. Bunların en önemlileri yol koşullarına, coğrafi konuma ve araç yüklemelerine bağlı oluşan etkilerdir. Yakıt tüketimi hesapları yapılırken bu üç etkeni de gözönünde bulundurmak gerekir.

Şekil 5 ve 6'da bir treyler çekicisinin ve otobüsün değişik yol şartlarında harcadığı yakıt miktarına hava sürtünme, tekerlek sürtünme ve hareketi engelleyici temel kuvvetlerin etkileri oransal olarak gösterilmiştir.



Yakıt Tüketimi ve İvmelenme Özelliklerine Etkisi

Hava sürtünmesi aracın yakıt tüketiminde ihmal edilemeyecek etkiye sahiptir. Yüksek hızlarda (100 km/saat), ortalama bir binek otomobil gücünün %60'ını hava sürtünme kuvvetini, %15'ini hareketi önleyen temel kuvvetleri, %20'sini ise tekerlek sürtünme kuvvetini yenmek için kullanır.

Günümüzün kara taşıtlarına baktığımız zaman hava sürtünmesi katsayısı dağılımı açısından şöyle bir gruplamayla karşılaşırız.

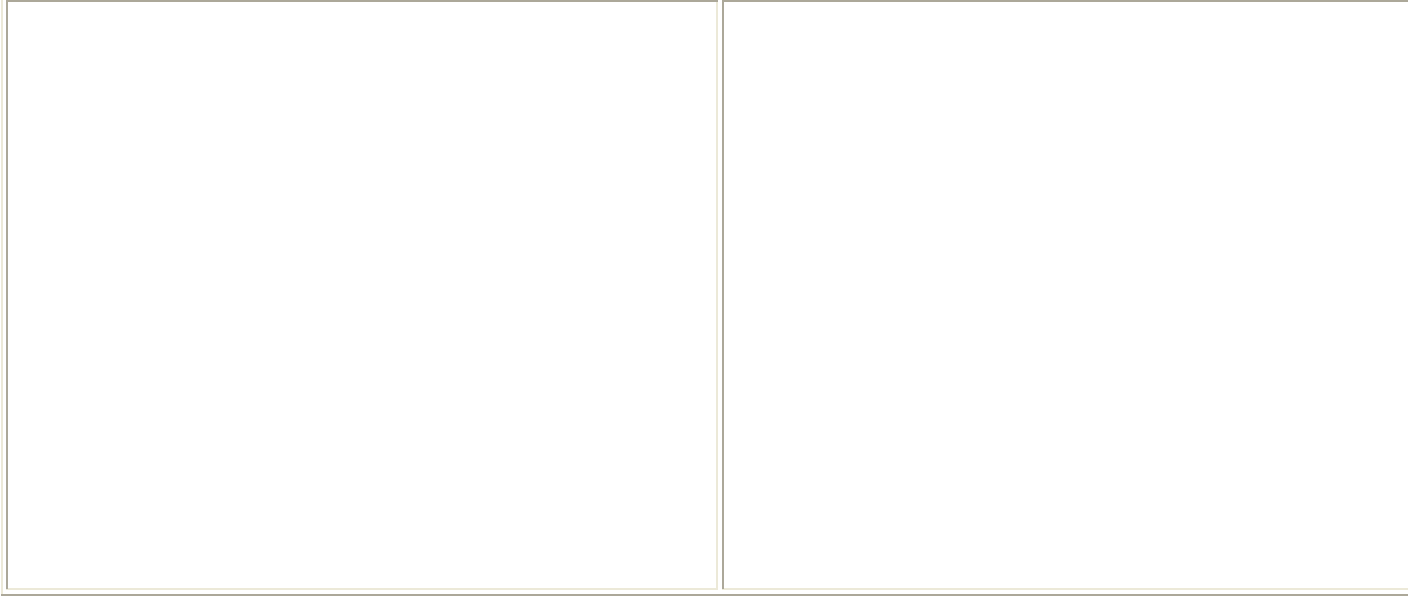
Şekil 7'de çeşitli kara araçlarının düz yolda sabit hızla (60 km/saat) giderken yakıt harcamasına sebep olan etkenlerin yüzde oranları verilmiştir.

Örneğin, 38 tonluk bir kamyonun yapılan iyileştirmelerle yakıt tüketimi %9 oranında (90 km/sa sabit hızda 100 km'de 4 litre) bir azalma sağlanabilmiştir. Daha düşük hızlarda ve daha düşük tonajlı araçlarda bu yakıt tasarrufu %30 mertebelerine çıkabilmektedir.

Aerodinamik Sürtünme (Direnç) Kuvveti Etkileri

Yakıt tüketiminde %9 oranında bir tasarruf sağlanan bir kamyon için yıllık 100.000 km yol yaptığı kabul edilirse yakıt maliyeti 250.000 TL/lt'den hesaplandığında yılda 1.000.000.000 TL bir tasarruf söz konusu olmaktadır.

Şekil 8 ve 9'da, treyler çekicisini ve karavanın hava sürtünmesi katsayısında yapılacak bir azaltmanın kazandıracığı yakıt tasarrufunu değişik yol koşullarında inceleyecek olursak, hava sürtünmesinin yakıt tüketimine büyük etkisini görebiliriz.



Hava sürtünmesi kuvvetinin yakıt tüketiminin yanı sıra aracın ivmelenme kabiliyetine de etkisi vardır. Yapılan deneyler göstermiştir ki aracın ivmelenme kabiliyeti ve hava sürtünme katsayısı ters orantılıdır. Aynı motora ve eşit ön alana sahip ama farklı aerodinamik geometrisi olan iki araç karşılaştırıldığında görülmüştür ki akım hattına uygun aracın kendisinden sadece aerodinamik açıdan daha kötü yapısı bulunan araca kıyasla hem ulaştığı azami hız daha yüksektir, hem de ivmelenme kabiliyeti daha fazladır. İvmelenme kabiliyetinin yüksek olması güvenli sürüş için gerekli şartlardan biridir.

Yanal Rüzgar Etkileri

Yanal rüzgarlar özellikle ağır kara taşıtlarının yol tutuş özelliklerinin değişmesinde önemli rol oynar. Yanal rüzgar etkilerini belirlemek amacıyla yanal kuvvet ve sapma momenti ölçümleri özellikle kamyon ve otobüs gibi bu etkilere daha duyarlı araçlar için yapılmaktadır.

Şekil 10'da değişik aerodinamik tasarımlara sahip üç çekici treylerin yana sapma açısıyla beraber hava sürtünme katsayısının değişimi gösterilmektedir. Her aerodinamik tasarımın hava sürtünme katsayısı değeri birbirinden farklıdır ama bu değer yana sapma açısıyla beraber her şart altında artmaktadır.

Yanal rüzgarların etkisiyle oluşan yana kayma kuvveti ve sapma momenti araç sürücünün hakimiyetini direkt olarak etkileyen unsurlardır. Aracın yol tutuş özelliklerindeki azalma, sürücünün direksiyon hakimiyetinin azalmasına bu da emniyetli ve güvenli sürüşün zorlaşmasına neden olmaktadır.

Yol Tutuş Özelliklerine Etkisi

Tüm dönme manevralarında tekerleğin yol üzerinde hareketi aracın düz olarak gitmesini sağlayan kuvveti oluşturduğu gibi aynı zamanda bazı durumlarda tekerlek üzerinde hareket yönüne dik bir yan kuvvet de oluşturur. Bu yan kuvvet aracın dönme manevrasını yapmasını sağlayan tek kuvvettir. Düşük yakıt tüketimi için hafif araç tasarımı gerekirken, yanal rüzgarların etkisiyle savrulma problemi yaşamamak için ise kararlı ve yeteri kadar ağır bir yapı tasarlanması gerekir.

Araçlarda oluşan bu kaldırma kuvvetini azaltmak için en çok kullanılan yöntem aerodinamik yapıya karar verirken araç üzerinde yapılacak denemeler sonucu en uygun sonuca ulaşmaktır. Bu da aracın aerodinamik geometrisine akım bozucular veya benzeri parçalar ilave edilerek çözülür. Eğer aracın hızı yarış otomobillerinde olduğu gibi limitleri çok aşıyorsa, kaldırma kuvvetini ortadan kaldırmak için özel tasarım ters yönde kaldırma kuvveti yaratan parçalar kullanılmalıdır.

Taşıma (Kaldırma) Kuvveti Etkileri

Yapılan incelemeler göstermiştir ki dönüş sırasında oluşan yan kuvvet aracın taşıma (kaldırma) kuvvetinde dolayısıyla ağırlığında olabilecek değişimlere son derece duyarlıdır. Örneğin 5000 N.'luk bir yüke sahip bir tekerlek düşünülüğünde bir dönüş manevrası sırasında kaldırma kuvvetinin araca etkimesi sonucu bu yükü 3000 N.'a kadar düşebilir. 5000 N.'luk yükün oluşturduğu 2300 N.'luk yan kuvvetin ise 1600 N.'a kadar düştüğü görülmüştür. Bu örnek ortalama bir otomobilin her zaman karşılaştığı bir durumdur. Eğer tasarım veya geliştirme çalışmaları sırasında bu durumun analizi iyi bir şekilde yapılmazsa sonuç, dönüş manevraları sırasında aracın savrulmasıyla ve hatta takla atmasıyla sonuçlanabilir.

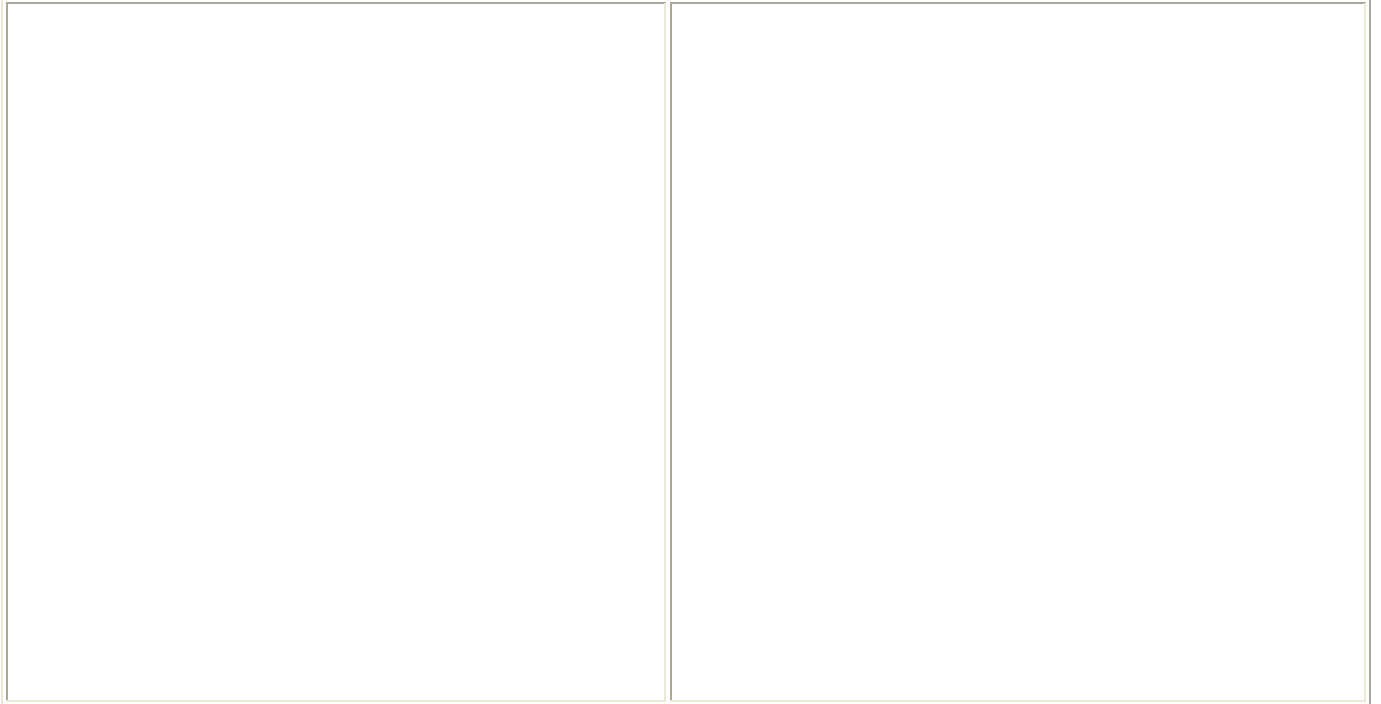
TAŞIT AERODİNAMİĞİNİN DİĞER ETKİLERİ

Kara taşıtları aerodinamiğinde önemli konulardan birisi de aracın dış yüzeyindeki hava akımının araca olan etkisidir. Aracın dış yüzeyinin kirlenmesi, rüzgarın oluşturduğu gürültü, yağmur damlalarının akım yolu tasarımı ve parçaları etkileyen hava akımı bu başlık altında incelenebilir.

Kirlilik Etkileri

Araçlarda meydana gelen dış yüzey kirlenmesi iki sebepten dolayı çok önemlidir. Bu sebeplerden biri kirlenmenin aracın farları, sinyal lambaları ve camların üzerinde olması sonucu sürüş güvenliğinin azalmasıdır. Diğer bir sebep ise, estetik açıdan aracın kötü görünmesidir. Yoldaki çamurdan ve sudan dolayı kaynaklanan bu kirlenme yapılan tasarımların rüzgar tünellerinde denenmesi sonucu kolaylıkla önlenir.

Şekil 11'de iki otobüs tasarımı arasındaki kirlenme farklılığı rüzgar tüneli deneyleri sonucu gösterilmiştir. Şekil 12'de ise aracın arkasına eklenen deflektör tarzı bir parçanın kirlenmenin azalmasıdaki etkisi açık bir şekilde görülmektedir.



Gürültü Etkileri

Rüzgar gürültüsü aracın çevresindeki hava akımı tarafından oluşturulur. Saatte 150 km ile giden 5500 rpm'e sahip bir araçta yapılan ölçümler göstermiştir ki motor 82.5 dB (A), tekerlekler 78 dB (A) ve rüzgar ise 78.5 dB (A) gürültü seviyesine sahiptir. Motor ve tekerleklerden kaynaklanan gürültünün önlenmesi için çeşitli sistemler geliştirilmektedir. Rüzgar gürültüsünü önleyebilmek için tek yol araç tasarlanırken yapılacak ölçümler sonucu aerodinamik açıdan en uygun tasarımı yakalayıp gürültüyü kaynağında yok etmektir.

Harici Yük Etkileri

Araç üzerinden akıp giden havanın oluşturduğu kaldırma kuvvetinden etkilenebilecek parçaların görevlerini tam olarak yapabilmesi (örneğin sileceklerin her koşulda ön cama temas edebilmesi) için aracın tasarımı sırasında yapılacak deneylerle belirli noktalara basınç vanaları yerleştirilmesi en uygun çözümlerlendendir. Şekil 13'de karavan çeken bir otomobile eklenen akım düzenleyici aracın hava sürtünme katsayısında %15'lik bir azalma sağlamıştır.

Fren Sistemine Etkileri

Bir aracın aerodinamik tasarımı sırasında dikkat edilecek konulardan birisi de fren balatalarını soğutabilecek bir hava akışına imkan sağlamaktır. Bu tür soğutmadan en verimli halde yararlanabilmek için yapılacak tasarımların rüzgar tünellerinde denenmesi sonucu en uygun çözüm bulunabilir. Bu sayede hem balataların ömrü artacak, hem de güvenli sürüş ve yol tutuş kabiliyeti araca kazandırılacaktır.

Motor Soğutma Sistemine Etkileri

Bir araç tasarlanırken aerodinamiğin etkili rol oynadığı alanlardan birisi de motor soğutma sisteminin tasarımıdır. İyi tasarlanmış bir soğutma sistemi aracın radyatör üretim masrafında büyük indirim sebebe olur. Eğer soğutmak için kullanılan havayla dış yüzeyden akan havayı olumsuz yönde etkilerse aracın hava sürtünme kuvveti artar ve yakıt tüketiminde önemli rol oynar. Bu da araç kullanımına fazladan bir ekonomik yük getirir.

Soğutma sisteminin temel elemanları soğutma hava alığı, radyatör, radyatör soğutma fanı ve soğutma sıvısının dolaşmasını sağlayan sistemdir. Soğutma sisteminden en verimli ve ucuz yoldan yararlanabilmek için yapılacak tasarımda veya geliştirme çalışmasında her bir eleman iyice değerlendirilmeli ve kendi şartlarında en verimli hale getirilmelidir. Hava alığı sisteminin

diğer elemanlarla birlikte en verimli şekilde kullanılması temel bir aerodinamik problemdir ve birçok ölçüm ve deneme gerektirir.

Şekil 14'te iki farklı tasarımın etkisini inceleyebiliriz. Deflektörlü hava alığına sahip ve aynı zamanda daha az radyatör ön alanı olan sistemin daha verimli olduğu görülmektedir. Deflektörlü sistemin tasarımı rüzgar tüneli denemeleri sonucu yapılmıştır.

Havalandırma Sistemine Etkileri

Kara taşıtları aerodinamiğinin konularından birisi de ısıtma ve havalandırma sistemleri tasarımında aerodinamik prensiplerin uygulanmasıdır. Havalandırmada araç dışındaki basınç dağılımı etkin rol oynar. Ayrıca araç içerisindeki havanın davranışı da aerodinamik ölçümler ve deneyler sonucu rahatlıkla verimli bir sonuca ulaştırılabilir. Isıtma ve havalandırma sistemlerinin temel elemanları aracın gövdesi, ısı dönüştürücü cihazlar, fanlar ve sıcaklık kontrol sistemleridir. Bu sistemlerin tasarımında veya geliştirme çalışmalarında basınçla ilgili bilinmesi gereken veriler en sağlıklı şekilde gerçek doğa şartlarını yapay olarak sağlayan rüzgar tünellerindeki deneyler sonucu elde edilir.

SONUÇ

Belirtildiği gibi, bir motorlu kara taşıtının aerodinamik açıdan incelenmesi yol testleri veya rüzgar tüneli testleri ile yapılır. Günümüzde rüzgar tüneli testlerinin tercih edilip tasarım ve geliştirme çalışmalarının son aşamasında yapılan yol testleriyle karşılaştırılmasının sebebi, rüzgar tüneli testlerinin daha ucuz, hızlı ve kolay olmasıdır.

Motorlu kara taşıtlarının aerodinamik özellikleri her geçen gün daha iyileştirilmektedir. Gelişmiş ülkelerde motorlu kara taşıtlarının aerodinamiğe verilen önem, otomotiv sektöründeki firmaların sahip oldukları rüzgar tüneli sayısına bakıldığı zaman daha iyi anlaşılmaktadır. Tüm dünyada 50'e yakın rüzgar tünellerinde kara taşıtları için aerodinamik çalışmalar devam etmektedir. Türkiye'nin de otomotiv sektöründeki hızlı gelişmesini sürdürebilmesi için aerodinamik araştırma ve incelemelerin temel çalışma merkezleri olan rüzgar tünellerinden yararlanması gerekliliği her geçen gün biraz daha ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Hucho W.H.; *Aerodynamics of Road Vehicles: From Fluid Mechanics to Vehicle Engineering*; Butterworth&Co; 1987.
2. Hucho W.H.; *Vehicle Aerodynamics in the German-Dutch Wind Tunnel (DNW)*
3. Pope A., Harper J. J.; *Low-speed Wind Tunnel Testing*, John Wiley&Sons, New York; 1966.
4. Pope A., Harper J. J.; *Vehicle Aerodynamics: Wake Flows, Computational Fluid Dynamics and Aerodynamic Testing*; Society of Automotive Engineer; 1992.
5. Scibor-Rylsk A.J., *Road Vehicles Aerodynamics*, Pentech Press, 1975.
6. Sovran G., Morel T., Mason W. T., *Proceedings of the Symposium on Aerodynamic Drag Mechanisms of Bluff Bodies and Road Vehicles*, Plenum Press, 1978.