

# Karayolu Taşıtları İçin Kaldırma Katsayısının Önemi ve Belirlenmesi

Hamit SOLMAZ, Yakup İÇİNGÜR

## ÖZET

Taşıt sürüş güvenliği büyük ölçüde yol ve tekerlek arasındaki tutunmaya bağlıdır. Seyir halinde taşıta etki eden kaldırma kuvveti tekerlek ve zemin arasındaki tutunmanın temel parametrelerinden biri olan dinamik aks yüklerini azaltarak taşıt kararlılığını olumsuz şekilde etkiler. Bu çalışmada BMW X5 E53 otomobilinin 1/24 ölçekli bir modeli bir rüzgar tüneline test edilerek kaldırma katsayısı belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen kaldırma katsayısından tam ölçekli araca etki eden kaldırma kuvvetleri hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre taşıt hızı 100 km/h hızı geçtikten sonra kaldırma kuvvetinde hızlı bir artış meydana gelmiştir. 200 km/h hızına ulaşıldığında ise kaldırma kuvveti 280 N olarak belirlenmiştir. Araç üzerindeki basınç dağılımından yararlanılarak akslara etki eden kaldırma kuvvetleri incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Taşıt aerodinamiği, kaldırma kuvveti, kaldırma katsayısı, basınç katsayısı, sürüş güvenliği

# Importance and Determination of Lift Coefficient for Road Vehicles

## ABSTRACT

Vehicle driving safety largely depends on frictional coupling between road and tire. Lift force that effects vehicle in cruise adversely affects driving stability via reducing dynamic axle loads which is one of the main parameters of the holding between tire and road. In this study lift coefficient of BMW X5 E53 has been tried to be determine with a 1/24 scale model in a wind tunnel. According to obtained data after 100 km/h vehicle speed a rapid increase in lift force has been observed. When vehicle speed reached 200 km/h lift force has been determined as 280 N. Using pressure distribution on vehicle, the lift forces acting on vehicle axles has been considered.

**Key Words:** Vehicle aerodynamic, lift force, lift coefficient, pressure coefficient, driving safety

## 1. GİRİŞ

Taşıt aerodinamik karakteristiklerinin belirlenmesi, sürüş güvenliği ve performans bakımından büyük önem taşımaktadır. Aerodinamik direnç yakıt tüketimi ve taşıt performansı açısından ele alınması gereken parametrelerden birisidir. Bunun yanında aerodinamik kaldırma kuvveti ve katsayısı sürüş güvenliğini birinci derecede etkileyen faktörlerdendir.

Aerodinamik direnci azaltma çalışmalarının yanı sıra tekerlekler üzerine gelen yükü azaltan ve bunun sonucu olarak tutunma kuvvetini azaltan aerodinamik kaldırma, incelenmesi gereken önemli bir aerodinamik etkidir. Bununla birlikte taşıt hızı ile doğru orantılı olarak artan aerodinamik kaldırma, yüksek hızlı ve daha hafif taşıtlar için yani güç/ağırlık oranı yüksek olan taşıtlar için daha kritik bir öneme sahiptir. Özellikle yarış araçlarında motor gücünü tekerlek ve zemin arasında uygun şekilde kullanabilmek için mümkün olduğunca negatif aerodinamik kaldırma kullanılmalıdır (1).

Aerodinamik kaldırmanın etkisini tam olarak anlayabilmek ve karşılaştırma yapabilmek amacıyla aerodinamik kaldırma kuvveti yerine aerodinamik kaldırma katsayısı  $C_L$  kullanılmaktadır (2-3). Bir karayolu taşıtının tasarımında en önemli aerodinamik faktörlerden biri kaldırma kuvvetidir. 100 km/h hızın altındaki hızlarda kaldırma kuvveti çok etkin değilken bu hızın üzerindeki hızlarda önem arz etmektedir. Aks yüklerini azaltmasının bir sonucu olarak dinamik aks yükleri ve kararlılık önemli ölçüde etkilenir (4).

1980 öncesi araçlar için kaldırma katsayısı değerlerinin sürükleme direncine benzer şekilde genellikle 0,3 ile 0,5 aralığında olduğu belirtilmektedir (5). Ancak günümüz binek araçları kaldırma katsayıları sıfır yada sıfıra çok yakın olacak şekilde tasarlanmaktadır. Bununla birlikte yarış araçları için negatif kaldırma katsayıları kullanılmaktadır (3).

Yer etkilerinden uzak uçmakta olan bir cisim için kaldırma kuvvetinin büyüklüğü atak açısı ve cismin sahip olduğu kavise yada dışbükeyliğe bağlıdır. Karayolu taşıtları için ise taşıtın zemin ile olan mesafesi büyük bir önem taşımaktadır (5).

Şekil 1 (a)'da görüldüğü gibi taşıt zemine kayarak hareket ederse çok yakın olursa, taşıtın üst kısmında hızlanan ve basıncı düşen hava kaldırma etkisi yaratacaktır. Ancak gerçekte taşıtın zemin ile bu derece yakın mesafede olması pek mümkün değildir ve sonuçta

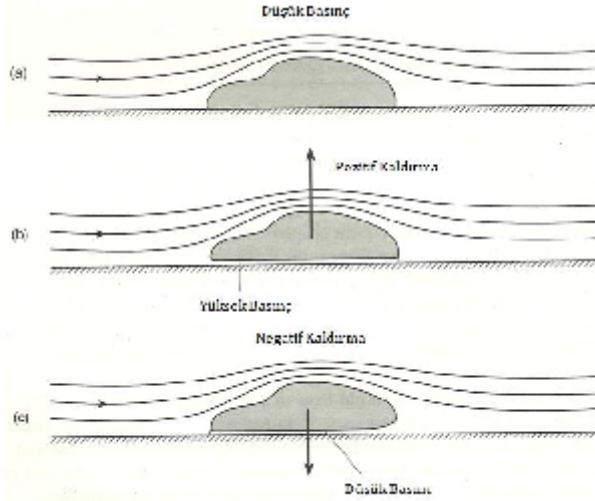
Makale 27.04.2010 tarihinde gelmiş 20.01.2010 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

H. SOLMAZ, Y. İÇİNGÜR, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü 06500 Teknikokullar/ ANKARA

e-posta : hsolmaz@gazi.edu.tr, ickingur@gazi.edu.tr,

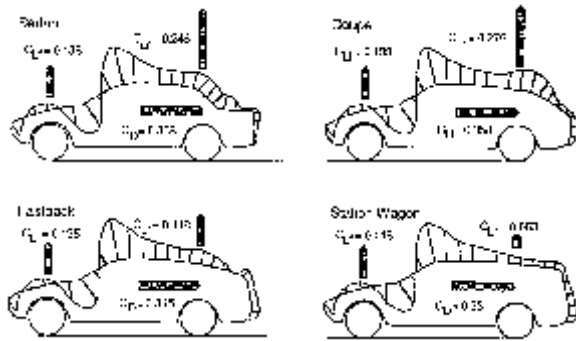
Digital Object Identifier 10.2339/2010.13.3, 203-208

bir kısım hava aracın alt kısmından geçmek zorundadır. Bu durumda kaldırma araç alt kısmındaki tasarım ve basınç dağılımına bağlıdır. Araç altında akışın durmasına sebep olacak girinti ve çıkıntılar statik basıncın artmasına ve dolayısıyla kaldırma kuvvetinin artmasına sebep olacaktır. Günümüz araçlarında bu sorun araç altı kaplamaların uygulanmasıyla büyük ölçüde giderilmiştir.



Şekil 1. Taşıt-zemin arası yüksekliğe bağlı olarak negatif ve pozitif kaldırma kuvvetlerinin oluşumu (3)

Şekil 1 (b)'de arka tampon alt kısmı ile zemin arası kapatılmıştır. Bunun bir sonucu olarak araç altındaki basınç ve taşıta etkiyen kaldırma kuvveti artar. Şekil 1 (c)'de ise aksine ön tampon ile zemin arası kapatılmıştır. Bu sayede araç altında basınç düşmesi yaratılarak taşıta negatif kaldırma kuvvetinin etki etmesi sağlanır. Yüksek hızlı yarış araçları ve spor otomobillerde taşıt kararlılığı için ön tamponda spoiler uygulamalarında amaçlanan araç altı basıncı düşürerek negatif kaldırma kuvvetinden faydalanmaktadır.



Şekil 2.Çeşitli araç tiplerine etkiyen sürüklenme ve kaldırma kuvvetleri (6).

Taşıt etrafındaki akış ayrılımları aerodinamik direnci direkt olarak arttırmaktadır. Bununla birlikte akış ayrılmasının önemli diğer bir etkisi de ön ve arka akslara etkiyen kaldırma kuvvetini arttırmasıdır (7). Şekil 2'de çeşitli otomobil tiplerine etkiyen basınç dağılımları

ile kaldırma ve sürüklenme katsayıları gösterilmektedir. Taşıt yüzeyindeki basınç dağılımı akış ayrılmasının ve kaldırma kuvvetinin oluştuğu ana bölgelerin belirlenmesinde etkili bir yöntemdir. Şekil 2'ye bakıldığında bütün taşıt tiplerinin ön cam ve tavan birleşme noktalarında negatif basınç katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Sedan ve coupe tiplerinin arka kısımlarındaki basınç katsayısı fastback ve station vagon tiplerine göre daha düşüktür ve bunun sonucu olarak arka kısımlarına etki eden kaldırma kuvvetleri daha büyüktür.

Kaldırma kuvveti araç eksenı boyunca eşit bir dağılım göstermemektedir. Ön ve arka akslara etki eden kaldırma kuvveti miktarları taşıt geometrisine bağlı olarak birbirinden farklıdır. Taşıt üzerindeki basınç dağılımları incelenerek kaldırma kuvvetinin yoğunlukla etki ettiği bölgeler belirlenebilir. Basınç dağılımı taşıt geometrisine bağlı olarak değişebileceği gibi atak açısına bağlı olarak da değişiklik gösterebilir [8].

Bu çalışmada BMW X5 E53 otomobilinin 1/24 ölçeğindeki bir modeli maksimum serbest akış hızı 28 m/s olan bir rüzgar tüneline test edilerek taşıta etkiyen kaldırma kuvveti ve kaldırma katsayısı belirlenmiştir. Taşıt etrafındaki basınç dağılımı incelenerek kaldırma kuvvetinin etki ettiği bölgeler belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Taşıt boyutlarına bakılmaksızın taşıtlara etki eden kaldırma kuvvetlerini karşılaştırmak için boyutsuz kaldırma katsayısından yararlanılabilir. Kaldırma katsayısı Eş. 1 ile hesaplanabilir.

$$C_L = \frac{2F_L}{\rho AV^2} \quad [1]$$

Burada  $C_L$  kaldırma katsayısı,  $F_L$  taşıta etki eden kaldırma kuvveti,  $\rho$  havanın yoğunluğu,  $V$  taşıt hızı yada tünel içerisindeki akış hızı ve  $A$  ise taşıt ön iz düşüm alanını belirtmektedir (9). Aynı eşitlikten yararlanılarak kaldırma katsayısının bilinmesi durumunda taşıta etki eden kaldırma kuvveti belirlenebilir.

Taşıt üzerindeki basınç dağılımının belirlenebilmesi için şekil 3'te görüldüğü gibi taşıt üzerine basınç ölçümlerinin yapılacağı 11 adet port açılmıştır.

$$C_p = \frac{(P - P_u)}{\frac{1}{2} \rho V^2} \quad [2]$$

Basınç dağılımının belirlenmesinde kullanılan basınç katsayısının belirlenmesinde Eş.2'den yararlanılmaktadır. Burada  $C_p$  basınç katsayısını,  $P$  ölçüm yapılan noktadaki basıncı,  $P_u$  ortam basıncını,  $\rho$  havanın yoğunluğunu ve  $V$  ise akış hızını ifade etmektedir (10).



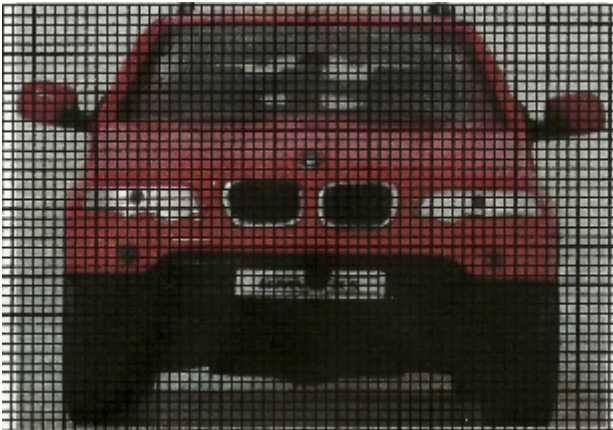
Şekil 3. Basınç ölçümü için model araç üzerine açılan portlar

Benzer çalışmalarda test işlemlerinde Reynolds sayısının belirlenebilmesi için model uzunluğu, genişliği yada yüksekliği kullanılmıştır (11-12). Ancak bu üç uzunluktan yalnızca birini kullanmak model karakteristiğini tam olarak ortaya koyamamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada model hacmi ve alanından yararlanılarak hidrolik çap yaklaşımı yapılarak modelin karakteristik uzunluğu belirlenmiştir. Dairesel kesitli olmayan bir kanal için hidrolik çap kavramı kullanılmalıdır. Aksi takdirde kayma gerilmesi değerleri yanlış sonuçlar verecektir (13).

$$l_k = \frac{6V_v}{A_v} \quad [3]$$

Burada  $V_v$  otomobil hacmini,  $A_v$  otomobilin toplam yüzey alanını,  $l_k$  ise otomobilin karakteristik uzunluğunu ifade etmektedir. Model için karakteristik uzunluğun belirlenmesinde Eş. 3 kullanılmıştır.

Model aracın ön iz düşüm alanını belirleyebilmek için şekil 4'te görüldüğü gibi model ön tarafından, modele paralel olacak şekilde fotoğraflanmış ve fotoğraf kenar uzunluğu 1.6 mm olan karelere bölünmüştür. Buna göre elde edilen 1815 karenin toplam alanı 0.0046  $m^2$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. BMW X5 E53 modelinin ön iz düşüm alanının belirlenmesi.

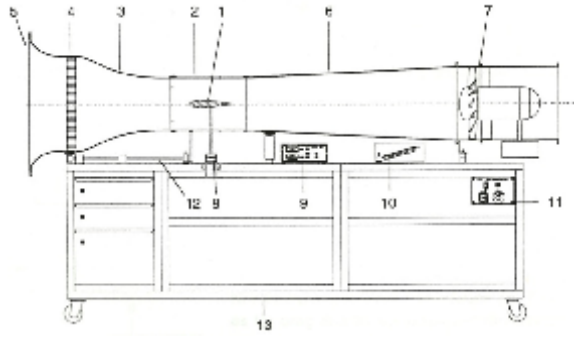
#### BMW X5 E53 modelinin özellikleri

Malzeme	: Metal
Görünüm	: Boyalı-pürüzsüz
Yükseklik	: 0,057 m
Genişlik	: 0,075 m
Uzunluk	: 0,187 m
Hacim	: 0,00066 $m^3$
Toplam Yüzey Alanı ( $V_i$ )	: 0,044 $m^2$
Karakteristik Alan ( $V_k$ )	: 0,0046 $m^2$
Karakteristik Uzunluk ( $l_k$ )	: 0,090 m

Deneylede şekil 5'de şematik resmi gösterilen Gunt HM 170 açık tip rüzgar tüneli kullanılmıştır. Tünelde hava girişi emiş yönündedir. Akış hızı şalter kutusu üzerindeki fan devir ayar şalteri ile fan devrini değiştirerek ayarlanmaktadır. Akış hızı rüzgar tüneli üzerinde bulunan bir eğik manometre ile ölçülebilmektedir. Emiş tarafında içeri giren havanın hareketini düzelten bir akış düzeltici bulunmaktadır. Tünelin kısıcı tarafı bir ray üzerine oturtulmuştur. Bu sayede deney odası içerisinde daha rahat çalışma imkanı sağlanmıştır. Rüzgar tünelinin sağlıklı çalışabilmesi için giriş tarafının en az 1 m çıkış tarafının ise en az 2 m önünde duvar yada herhangi bir cisim bulunmaması gerekmektedir.

Rüzgar tüneli üzerinde 16 kolonlu sulu manometre bulunmaktadır. Ancak basınç ölçümlerinde sulu manometrenin sadece hortum bağlantıları kullanılmıştır. Basınç ölçümleri için şekil 6'da görülen elektronik bir fark basınç ölçer kullanılmıştır. Cihazın pozitif ve negatif portlarına uygulanan basınçlar arasındaki fark elektronik göstergeden okunabilmektedir. Eğer bir noktanın atmosfer basıncından farkı ölçülmek isteniyorsa cihazın negatif portu atmosfere açık bırakılırken ölçülecek basınç pozitif porta uygulanır. Fark basınç ölçer üzerinde ayrıca hız ölçümü için bir dönüşüm tablosu bulunmaktadır. Okunan fark basınç değeri bu tablo üzerinden direkt olarak hıza çevrilebilmektedir.

Kaldırma ve sürüklenme kuvvetlerinin ölçümü için birçok değişik yöntem kullanılmıştır (14). Model üzerine etki eden kuvvetlerin ölçümü için rüzgar tüneli üzerinde bulunan iki eksenli yük hücresi kullanılmıştır. Bu yük hücresi ile hem kaldırma kuvveti hem de sürüklenme kuvveti ölçülebilmektedir. Bu yük hücresinde kuvvet bir bağlantı kolu ile bu kuvvetin etkisi ile bükülebilen bir diyaframa iletilir. Diyafram etrafına yerleştirilmiş yük ölçerlerden elde edilen veriler bir amplifikatör ile dijital olarak gösterilir. Bu çalışmada kullanılan yük hücresi 10 N'a kadar kaldırma kuvvetini 3 N'a kadar ise sürüklenme kuvvetini ölçülebilmektedir. Kullanılan amplifikatör yük hücresinden ölçülen değerleri 0.01 çözümlüğe gösterebilmektedir.



Şekil 5. Rüzgar tüneli şematik resmi (Schematic Picture of wind tunnel).

1. Model 2. Test Odası 3. Kısıcı 4. Akış düzeltici 5. Emiş Kısmı 6. Yayıcı 7. Fan 8. İki eksenli yük hücresi 9. Amplifikatör 10. Eğik manometre 11. Şalter kutusu 12. Ray 13. Taşıyıcı iskelet

#### Rüzgar tüneli teknik özellikleri

İmalatçı	: Gunt
Motor hızı	: 2800 rpm
Motor gücü	: 2.25 kW
Deney odası kesit ölçüleri	: 292 x 292 mm <sup>2</sup>
Maksimum serbest akış hızı	: 28 m/s
Boyutları	: 2850 x 750 x 1700 mm <sup>3</sup>
Ağırlığı	: 250 kg



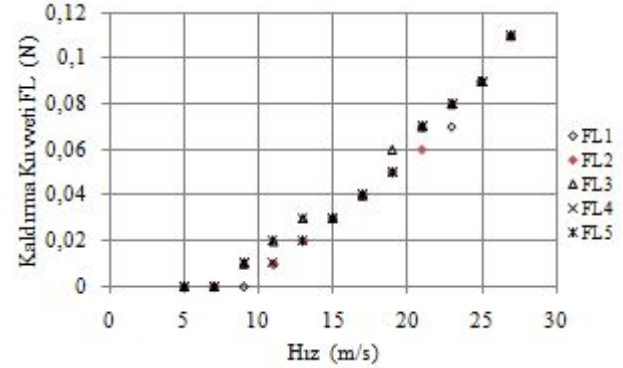
Şekil 6. Elektronik fark basınç ölçer.

#### Elektronik fark basınç ölçer teknik özellikleri

Marka	: Furness Controls FC010
Basınç Ölçme Aralığı	: $\pm 1999$ Pa
Hız Ölçme Aralığı	: 0 - 56 m/s
Doğruluk	: $\pm 1\%$
Çözünürlük	: 1 Pa

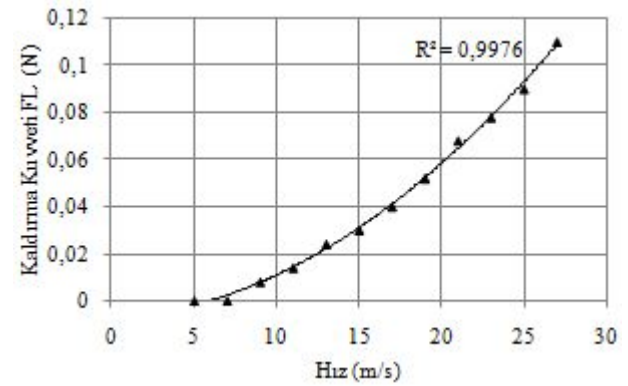
#### 4. DENEYSEL BULGULAR

Deney sonuçlarının doğruluğunu arttırmak için kaldırma kuvveti ölçümleri 5-27 m/s arasında 2 m/s hız aralıkları ile beş defa tekrarlanmıştır. Her deney sonucunda elde edilen kaldırma kuvvetleri için kaldırma kuvveti katsayıları belirlenmiştir.



Şekil 7. Kaldırma kuvvetinin rüzgar hızına bağlı değişimi.

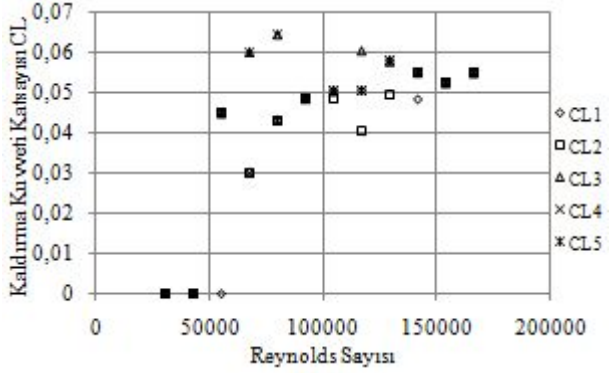
Şekil 7'de beş seri ölçüm sonucu elde edilen kaldırma kuvvetlerinin rüzgar hızına bağlı değişimi görülmektedir. Her deney sonucu elde edilen verilerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Havacılıkta kullanılan aerofilere etkiyen kaldırma kuvveti ile atak açısı arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Araçlara etkiyen kaldırma kuvveti içinde aracın atak açısı önem arz eder. Atak açısının artması araç altındaki durma noktalarını ve dolayısı ile statik basıncı artırarak daha yüksek bir kaldırma kuvveti oluşmasına neden olur. Ancak bu çalışmada atak açısının etkilerini ortadan kaldırmak için araç zemine paralel olarak yerleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar 0° atak açısında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8. Ortalama kaldırma kuvvetinin rüzgar hızına bağlı değişimi.

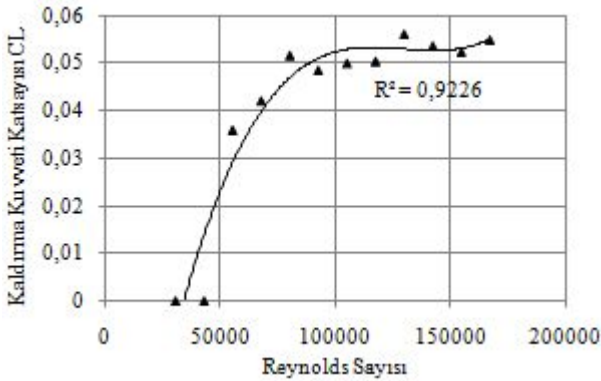
Karayolu taşıtlarına etki eden kaldırma kuvveti araç ön iz düşüm alanı, havanın yoğunluğu ve rüzgar hızının karesi ile orantılı olarak artmaktadır. Şekil 8'de deneysel çalışmalarda elde edilen kaldırma kuvveti verilerinin ortalamalarının rüzgar hızına bağlı değişimi görülmektedir. Taşıta etkiyen kaldırma kuvveti, sürüklenme kuvvetinde olduğu gibi rüzgar hızının karesi ile orantılıdır. Kaldırma kuvvetini etkileyen diğer önemli bir parametre ise taşıtın zemin ile olan mesafesidir. Taşıt yere yaklaştıkça alt kısımda daha düşük bir basınç oluşacak-

tır. Bu durumda taşıta etki eden kaldırma kuvveti azalacaktır.



Şekil 9. Kaldırma kuvveti katsayısının Reynolds sayısına bağlı değişimi.

Şekil 9'da kaldırma kuvveti katsayısının beş ayrı deney sonucunda elde edilen verileri görülmektedir. Reynolds sayısı 150000 değerine kadar elde edilen veriler kararsızdır. Ancak 150000 değerinden sonra kaldırma kuvveti katsayıları birbirine oldukça yaklaşmıştır.

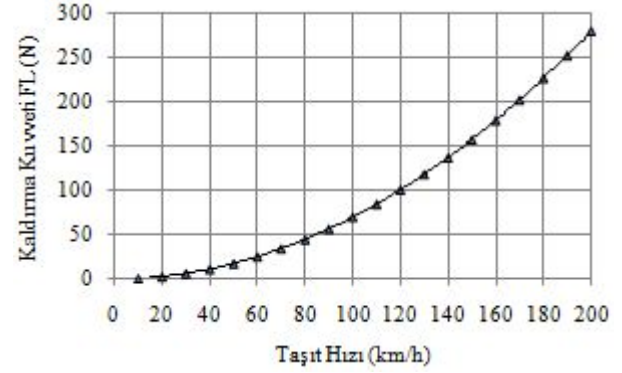


Şekil 10. Ortalama kaldırma kuvveti katsayısının Reynolds sayısına bağlı değişimi

Şekil 10'da beş ayrı deney sonucunda elde edilen kaldırma katsayısının ortalama değerleri görülmektedir. Reynolds sayısı 100000 değerine ulaştıktan sonra verilerde sabitlenme eğilimi görülmektedir ancak yine kesin bir sonuca varıldığı söylenemez. Reynolds sayısının düşük değerlerinde beklenmeyen etkilerinden dolayı verilerde tam olarak sabitlenme görülememiştir. Kaldırma katsayısı değerlerinin tam olarak sabitlendiği noktayı belirlemek için daha yüksek Reynolds değerlerine çıkılması bunun içinde daha büyük model yada daha yüksek hızlı bir rüzgar tüneli kullanılması gerekmektedir. Ancak yine de verilerin eğilimine bakılacak olursa elde edilecek kaldırma katsayısı değerinin 0.05 ile 0.06 aralığında olacağı söylenebilir.

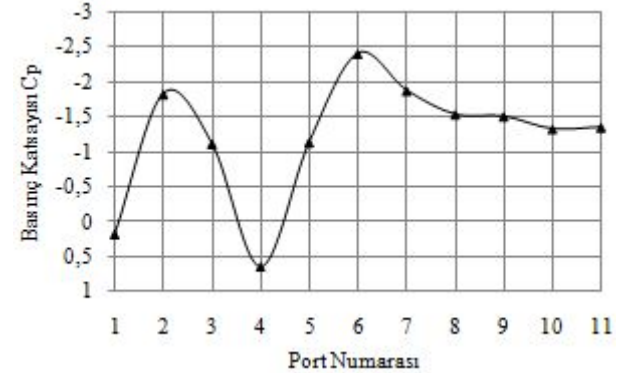
BMW X5 E53 otomobilinin gerçek boş ağırlığı 21700 N ve ön iz düşüm alanı 2.7 m<sup>2</sup> dir (15). Buna göre kaldırma katsayısı 0.055 ve ön iz düşüm alanı 2.7 m<sup>2</sup> alınarak yapılan hesaplamalar sonucu şekil 11'deki grafik elde edilmiştir. Şekil 11 incelendiğinde kaldırma kuvvetinde hızın karesi ile orantılı bir artma eğilimi vardır. 50 km/h hızına kadar kaldırma kuvvetinde önemli bir artış olmadığı görülmektedir. 50-100 km/h

aralığında kaldırma kuvveti iki kattan fazla artmış ve 40 N'a yükselmiştir. Taşıt hızı 200 km/h iken oluşan kaldırma kuvveti ise 280 N'dur.



Şekil 11. Taşıta etki eden kaldırma kuvvetinin taşıt hızına bağlı değişimi.

Burada elde edilen kaldırma kuvveti değerleri ön ve arka aksa etki eden kaldırma kuvvetlerinin toplamıdır. Sürüş güvenliği açısından her iki aksa etki eden kaldırma kuvvetlerinin belirlenmesi daha yararlı olacaktır. Tek bir yük hücresi kullanılarak hem ön hemde arka aksa etki eden kaldırma kuvveti net olarak belirlenemeyebilir ancak taşıt üzerindeki basınç dağılımının incelenmesi kaldırma kuvvetinin etkili olduğu bölgelerin belirlenmesinde etkili bir yöntemdir.



Şekil 12. Taşıt üzerindeki basınç dağılımı

Şekil 12'de taşıt üzerindeki basınç dağılımı görülmektedir. En yüksek kaldırma etkisinin ön cam üst kısmı ile tavan başlangıç noktasında meydana geldiği görülmektedir. Kaldırma etkisi 6 numaralı porttan sonra azalarak devam etmektedir. Tavan boyunca kaldırma etkisinin giderek azalması sürtünmeye bağlı olarak akış hızının azalması ve statik basıncın artmasından kaynaklanmaktadır. Yine ön cam alt kısmı ile kaput birleşim noktası bölgesinde negatif bir kaldırma etkisi görülmektedir. Bunun nedeni ise akışın bu bölgeye daha dik gelerek durma noktasına yaklaşmasıdır. Dolayısı ile 4 numaralı port bölgesinde akış oldukça yavaşlamış ve statik basıncın artmasına sebep olmuştur. Bu durum negatif bir kaldırma etkisinin meydana gelmesine ve ön aks üzerinde taşıtı zemine doğru bastıran bir kuvvetin oluşmasına neden olacaktır. 6 numaralı porttan sonra arka aks üzerinde kaldırma kuvvetinin artmasına neden olacak şekilde bir basınç dağılımının meydana geldiği

görülmektedir. Bu durumda özellikle yüksek hızlarda panik frenleme esnasında araç ağırlık merkezinin öne kaymasıyla birlikte arka akstaki yükün ve arka tekerlekler ile zemin arasındaki tutunmanın azalmasına neden olacaktır. Tekerlekler ile zemin arasındaki tutunmanın azalması frenleme mesafesinin artmasına ve ABS donanımına sahip olmayan araçlarda tekerleklerin kilitlenerek taşıtın savrulmasına zemin hazırlayacaktır.

### 5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada BMW X5 E53 otomobilinin 1/24 ölçekli bir modeli maksimum hızı 28 m/s olan bir rüzgar tüneline test edilerek, modele etki eden kaldırma kuvveti ve kaldırma katsayısı belirlenmiştir. Elde edilen kaldırma katsayısı kullanılarak 0-200 km/h hızları aralığında gerçek boyuttaki taşıta etki eden kaldırma kuvvetleri hesaplanmıştır.

Modelin kaldırma katsayısının Reynolds değeri 100000'den sonra 0.05 ile 0.06 aralığında kaldığı görülmüştür ancak kaldırma katsayısında tam olarak bir sabitleme elde edilememiştir. Ayrıca düşük Reynolds değerlerinde kaldırma kuvveti ve buna bağlı olarak kaldırma katsayısı değerleri oldukça kararsızdır. Kaldırma katsayısının tam olarak sabitlenebilmesi için daha yüksek Reynolds değerine ulaşılması gerekmektedir. Bunun için daha büyük boyutlu model yada daha yüksek hızlı bir rüzgar tüneli kullanılabilir.

Kaldırma katsayısı Reynolds değeri 100000'den sonra 0.05 ile 0.06 aralığında kaldığından gerçek boyuttaki araca etki eden kaldırma kuvvetini belirleyebilmek için deney sonucunda elde edilen en son veri olan 0.055 değeri kullanılmıştır. Gerçek boyuttaki taşıta 0-200 km/h hızları aralığında etki eden kaldırma kuvvetleri hesaplanmıştır. Buna göre taşıt hızı 100 km/h hızını geçtikten sonra kaldırma kuvvetinde hızlı bir artış meydana geldiği, 200 km/h hızına ulaşıldığında ise kaldırma kuvvetinin 280 N'a ulaştığı belirlenmiştir.

Taşıta üzerine etki eden toplam kaldırma kuvvetinin ön ve arka akslara dağılımını incelemek için taşıt üzerindeki basınç dağılımından yararlanılmıştır. Buna göre ön cam alt bölgesinde taşıtı zemine doğru bastıran bir kuvvetin oluştuğu, ön cam ve tavan birleşme noktasından sonra taşıtı yukarı kaldırmaya çalışan bir kal-

dırma kuvveti etkisinin meydana geldiği ve kaldırma etkisinin tavan boyunca devam ettiği belirlenmiştir. Bu nedenle arka aksa etki eden kaldırma kuvveti ön aksa göre daha fazla olacaktır. Arka aks yükünün özellikle dinamik şartlara bağlı olarak daha da azalması sürüş güvenliği açısından sorunlar yaratabilir.

### 6. KAYNAKLAR

1. Genta, G., "Motor Vehicle Dynamics", World Scientific, Singapore, 89-127, (1997)
2. Rylski, A.J.S., "Road Vehicle Aerodynamics 2<sup>nd</sup> ed.", Pentech Press, London, 15-120, (1984)
3. Barnard, B.H., "Road Vehicle Aerodynamic Design", Longman, London, 30-50, (1996)
4. Hucho, W. H., "Aerodynamics Of Road Vehicles", Butterworths, London, 106-150, 298-410 (1987).
5. Kuethe, A.M., Chow, C.Y., "Foundations of Aerodynamics 4<sup>nd</sup> ed.", John Wiley, Canada, 355-383, (1986)
6. Gillespie, T.D., "Fundamentals of Vehicle Dynamics", Society of Automotive Engineers International, Warrendale, 79-123, (1992)
7. Kramer, C., "Introduction to Aerodynamics", Von Karman Institute for Fluid Dynamics, 50-60, (1984)
8. Houghton, E. L. And Carpenter, P. W., "Aerodynamics For Engineering Students", Butterworths, London, 29-65 (2003).
9. Gillespie, T. D., "Fundamentals Of Vehicle Dynamics", Society of Automotive Engineers International, Warrendale, 79-123 (1992).
10. Houghton, E. L. And Carpenter, P. W., "Aerodynamics For Engineering Students", Butterworths, London, 29-65 (2003)
11. Aka, H., "Otomobillerin Aerodinamik Karakteristiğinin Bir Rüzgar Tüneline İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 67-69, (2003)
12. Çengel, Y.A., Cimbala, J.M., "Akışkanlar Mekaniği" McGraw Hill, İzmir, 170-200, 299-300, (2008)
13. White, M.F., "Akışkanlar Mekaniği", McGraw Hill, İstanbul, 442-445, (2004)
14. Norberg, C., "Fluctuating lift on a circular cylinder: Review and new measurements", J. Fluid Struct. 17, 57 (2003)
15. İnternet: 'Technical Specifications of Cars', <http://www.carfolio.com/specifications/models/car/?car=113300>