

DÜŞÜK HIZLI BİR RÜZGAR TÜNELİNDE DEĞİŞİK OTOMOBİL MODELLERİNİN AERODİNAMİK DİRENÇ KATSAYILARININ BELİRLENMESİ

Yakup İÇİNGÜR ve Hamit SOLMAZ

Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fak., Gazi Üniversitesi 06500 Beşevler/ANKARA
icingur@gazi.edu.tr, hsolmaz@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 07.09.2010; Kabul/Accepted: 28.03.2011)

ÖZET

Taşıt aerodinamik karakteristiklerinin belirlenmesi için rüzgar tüneli testlerinden yararlanılmaktadır. Model ve prototip arasında Reynolds sayısı eşliği sağlanabilmesi için ya çok yüksek hızlı rüzgar tüneli kullanılması ya da daha büyük model kullanılması gerekmektedir. Bu maliyeti arttıran önemli bir faktördür. Daha küçük ölçekli ve daha düşük rüzgar hızlarında aerodinamik karakteristiklerin belirlenebilmesi için Reynolds sayısı bağımsızlığından faydalanılabilir. Bu çalışmada Reynolds sayısı bağımsızlığından faydalanılarak 1/24 ölçekli üç otomobilin aerodinamik direnç katsayısı belirlenmeye çalışılmıştır. Testler maksimum serbest akış hızı 28 m/s olan bir rüzgar tüneli ile gerçekleştirilmiştir. Test sonucunda bütün modeller için Reynolds sayısı bağımsızlığından yararlanılamayacağı görülmüştür. BMW X5 E53, Alfa Romeo 156 ve Volkswagen New Beetle otomobilleri ile yapılan testler sonucu aerodinamik direnç katsayıları sırasıyla % 14, % 12,5 ve % 7,8 hata oranı ile bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Aerodinamik direnç, direnç katsayısı, rüzgar tüneli testi, Reynolds sayısı

DETERMINATION OF DRAG COEFFICIENTS OF VARIOUS AUTOMOBILE MODELS IN A LOW SPEED WIND TUNNEL

ABSTRACT

Wind tunnel tests are used to determine aerodynamic characteristics of road vehicles. Between model and prototype to match Reynolds number its necessary to use high speed wind tunnel or larger models. This is an important factor that increasing costs. Reynolds number independence can be used to determine aerodynamic characteristics with low speed wind tunnel and smaller models. In this study 1/24 scale three car's drag coefficient were trying to determine with utilizing the Reynolds number independence. Tests were carried out in a wind tunnel which free flow velocity is 28 m/s. As a result of the tests, it has been seen that the Reynolds number independence can not be used for all models. According to test results, the drag coefficients of BMW X5 E53, Alfa Romeo 156 and Volkswagen New Beetle were found with 14 %, 12.5 %, 7.8 % error ,respectively.

Keywords: Aerodynamic drag, drag coefficient, wind tunnel test, Reynolds number

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Taşıt aerodinamik karakteristiklerinin belirlenmesi için yol ve rüzgar tüneli testlerinden yararlanılmaktadır. Rüzgar tüneli testleri yol testlerine göre daha küçük modeller kullanılabilmesi bakımından daha ucuz ve kolay gerçekleştirilebilir. Ancak tam ölçekli model kullanıldığında rüzgar tüneli testi yol testine göre daha maliyetli olabilir [1]. Taşıtın kullanılacağı ortamın özelliklerini taşıması bakımından yol testleri daha gerçekçi sonuçlar

verebilir ancak değişken çevre koşullarında bir genelleme yapılamayacağından dolayı rüzgar tüneli testleri daha sıklıkla kullanılmaktadır [2].

Rüzgar tüneli testleri küçük ölçekli modeller ile başlamıştır. Küçük ölçekli modeller ile test işlemi tam ölçekli modellere göre daha ucuz ve basit olması bakımından avantajlıdır. Ancak ölçekli modeller ile elde edilen sonuçlar tam ölçekli modeller ile elde edilen sonuçların doğruluğunu verememektedir. Bunun temel nedeni geometrik benzerliğin tam olarak

sağlanamaması ve Reynolds sayısının beklenmeyen etkileridir [3].

Ayrıca küçük ölçekli test işleminde model ve prototip arasında Reynolds sayısı eşliğinin sağlanabilmesi oldukça güçtür. Wiedemann ve Ewald düşük hızlı rüzgar tünelinde türbülans oranını artırarak model ve prototip Reynolds sayılarının birbirine yaklaştırılabileceğini belirtmişlerdir [4]. Benzer şekilde Reynolds sayılarını eşleyebilmek için rüzgar tüneli basınçlandırılarak havanın yoğunluğu artırılabilir. Fakat bu daha yüksek dayanımlı malzeme kullanılmasını gerektirerek maliyeti arttırmaktadır [5].

Aka, yaptığı çalışmada bir aracın 1/16 oranında küçültülmüş modelini maksimum hızı 40 m/s olan bir rüzgar tünelinde test etmiş ve bunun sonucunda aerodinamik direnç katsayısı, kaldırma kuvveti katsayısı ve basınç katsayılarını belirlemiştir. Aerodinamik direnç katsayısını üretici firmanın vermiş olduğu değere göre % 5 hata oranı ile bulmuştur [6].

Kavadar, bir otobüs modeli için mekatronik olarak çalışabilen bir burun tasarımı gerçekleştirmiştir. Değişik burun açılarının, maksimum hızı 30 m/s olan bir rüzgar tünelinde otobüs aerodinamik direnç katsayısına etkilerini incelemiştir. Bu çalışmayla aerodinamik direnç katsayısında % 10,7 ye varan düşmeler saptamıştır [7].

Düşük Reynolds değerlerinde aerodinamik direnç katsayısı C_d Reynolds sayısının güçlü bir fonksiyonu iken, belirli bir Reynolds değerinden sonra sabitlenir ve değişmez. Birçok cisim için aerodinamik direnç katsayısı Reynolds sayısının belirli bir eşik değerinden sonra sabitlenmektedir. Bu durum Reynolds sayısı bağımsızlığı olarak bilinmektedir [8-9].

Otomobil şeklindeki cisimlerin aerodinamik direnç katsayıları özellikle akış ayrılmasının gerçekleşmediği durumlarda Reynolds sayısı ile birlikte büyük değişiklikler gösterebilir. Ancak akış ayrılmasının Reynolds sayısından ziyade cismin şekline bağlı olduğu durumda aerodinamik direnç katsayısı Reynolds sayısından bağımsız hale gelebilir [5-10].

Bu çalışmada Reynolds sayısı bağımsızlığından yararlanılarak üç değişik aracın, 1/24 oranında küçültülmüş modelleri ile aerodinamik direnç katsayıları belirlenmeye çalışılmıştır.

2.DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

2.1.Modellerin Tanımı (Description of Models)

Binek olarak kullanılan Alfa Romeo 156, BMW X5 E53 ve Wolkswagen New Beetle otomobillerinin 1/24 oranında küçültülmüş modelleri test işlemleri için seçilmiştir. Bu üç farklı otomobilin seçilmesinin nedeni

değişik boyutlardaki otomobillerde Reynolds sayısı bağımsızlığının benzer sonuçları verip vermeyeceğinin belirlenmesidir.

BMW X5 E53 modelinin özellikleri

Malzeme	: Metal
Görünüm	: Pürüzsüz
Yükseklik	: 0,057 m
Genişlik	: 0,075 m
Uzunluk	: 0,187 m
Hacim	: 0,00066 m ³
Toplam Yüzey Alanı	: 0,044 m ²
Karakteristik Alan	: 0,0046 m ²
Karakteristik Uzunluk	: 0,090 m

Alfa Romeo 156 modelinin özellikleri

Malzeme	: Metal
Görünüm	: Pürüzsüz
Yükseklik	: 0,049 m
Genişlik	: 0,076 m
Uzunluk	: 0,186 m
Hacim	: 0,00055 m ³
Toplam Yüzey Alanı	: 0,0375 m ²
Karakteristik Alan	: 0,00322 m ²
Karakteristik Uzunluk	: 0,088 m

Wolkswagen New Beetle modelinin özellikleri

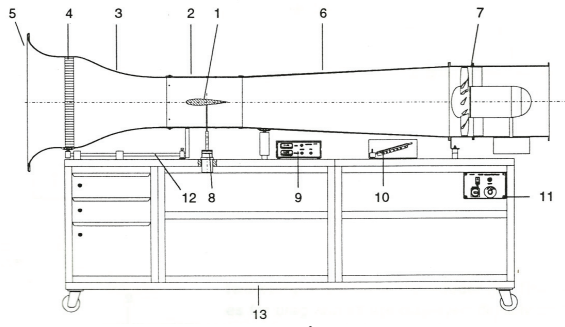
Malzeme	: Metal
Görünüm	: Pürüzsüz
Yükseklik	: 0,056 m
Genişlik	: 0,078 m
Hacim	: 0,00061 m ³
Toplam Yüzey Alanı	: 0,0427 m ²
Uzunluk	: 0,169 m
Karakteristik Alan	: 0,00365 m ²
Karakteristik Uzunluk	: 0,085 m

2.2.Rüzgar Tüneli (Wind Tunnel)

Deneylerde Şekil 1'de görülen Gunt HM 170 açık tip rüzgar tüneli kullanılmıştır. Tünele 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. Ayrıca rüzgar tüneli üzerinde basınç ölçümleri için 16 kolonlu sıvı manometre bulunmaktadır. 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 teknik özellikleri

İmalatçı	: Gunt
Motor hızı	: 2800 rpm
Motor gücü	: 2.25 kW
Deney odası ölçüleri	: 292 x 292 mm ²
Maksimum akış hızı	: 28 m/s
Boyutları	: 2850x750 x1700 mm ³
Ağırlığı	: 250 kg



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

Şekil 1. Rüzgar tüneli şematik resmi (Schematic picture of wind tunnel)

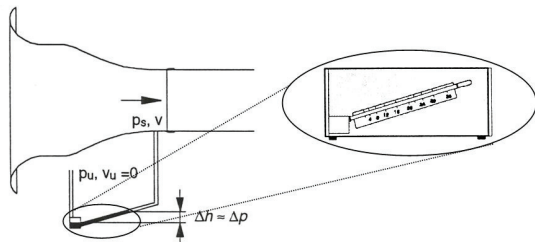
Deneylerde serbest akış hızı rüzgar tüneline ait eğik manometre ile ölçülmüştür. Şekil 2’de görüldüğü gibi rüzgar tüneli kısıcıcı tarafında deney odasının hemen girişine yüzeye dik olarak yerleştirilen dört delik ile rüzgar tüneli içerisindeki statik basınç ölçümü yapılabilmektedir. Toplam basınç (P_g) ile statik basınç (P_s) arasındaki fark dinamik basıncı verir ve hızın karesi ile doğru orantılıdır. Rüzgar tüneli içerisindeki toplam basınç dış ortam basıncına (P_u) eşittir. Bu sayede tünel içerisinde pitot tüpü kullanarak akış yapısının bozulması engellenebilir.

$$V = \sqrt{\frac{2P_d}{\rho}} = \sqrt{\frac{2(P_u - P_s)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (1)$$

$$\Delta P = \rho_{fl} g \Delta h \quad (2)$$

$$V = \sqrt{\frac{2\rho_{fl} g \Delta h}{\rho}} \quad (3)$$

Rüzgar tüneli üzerinde bulunan eğik manometre üzerinden basınç değeri okunarak Eş. 3 ile rüzgar tüneli içerisindeki serbest akış hızı hesaplanabilir. Ayrıca eğik manometre üzerinde şekil 2’de görüldüğü gibi her bir basınca karşılık gelen hız skalası mevcuttur. Bu sayede pratik olarak serbest akış hızı okunabilmektedir.



Şekil 2. Akış hızı ölçüm sistemi (Flow velocity measurement system)

Modeller 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 ölçebilmektedir. Kullanılan amplifikatör yük hücresinden ölçülen değerleri 0,01 çözünürlükte gösterebilmektedir. Deneylerde ölçülen kuvvet değerleri her hız için beş seri tekrarlanmıştır. Elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır.

Taşıt üzerine etkiyen aerodinamik kuvvetler başta taşıt ve çevresel koşullar olmak üzere birçok parametreye bağlı olarak değişir. Farklı şartlarda iki araca etkiyen kuvvetler de farklı olacaktır. Bu durumda iki farklı araca etkiyen kuvvetleri kuvvet birimi olan Newton cinsinden birbiri ile karşılaştırmak olanaksızdır. Bu nedenle karşılaştırma işlemini birimsiz ifadelerle ele almak gereklidir. Böyle bir durumda boyut analizi gereklidir.

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \rho A V^2} \quad (4)$$

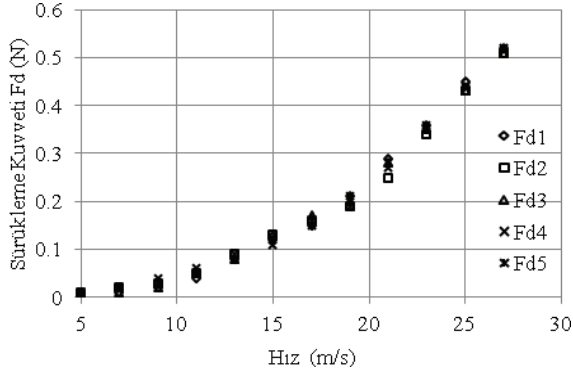
Araçlara etki eden kuvvetler sonucunda aerodinamik direnç katsayısının bulunması için Eş. 4 kullanılmıştır.

3.DENEYSEL BULGULAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

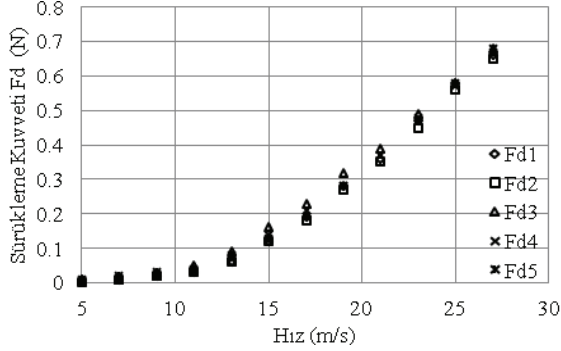
Deneysel verilerin doğruluğunu arttırmak için her bir araç için sürüklenme kuvvetleri beş defa 5-27 m/s hızları arasında 2m/s hız aralıkları ile ölçülmüştür. Her bir seri ölçümün sonuçları şekil 3, şekil 4 ve şekil 5’de verilmiştir. Şekil 6’da ise her bir araç için yapılan beş seri ölçümün ortalamaları ve korelasyon katsayıları görülmektedir.

Şekil 3, şekil 4 ve şekil 5’te model araçlara etki eden sürüklenme kuvvetinin rüzgar hızına bağlı değişimi görülmektedir. Sürüklenme kuvveti rüzgar hızının bir fonksiyonu olduğu gibi aynı zamanda ön izdüşümü alanının yada karakteristik alanın da bir fonksiyonudur. Üç araçta da sürüklenme kuvveti rüzgar hızı ile birlikte arttığı görülmektedir. Şekil 6’da üç model için ortalama sürüklenme kuvvetlerinin rüzgar hızına bağlı değişimi görülmektedir. Görüldüğü gibi sürüklenme kuvvetindeki en fazla artış BMW X5 modelinde gerçekleşmiştir. Bunun nedeni BMW X5 modelinin karakteristik alanının diğer araçlara göre daha büyük olmasıdır. Benzer şekilde Volkswagen New Beetle modelinin karakteristik alanının Alfa

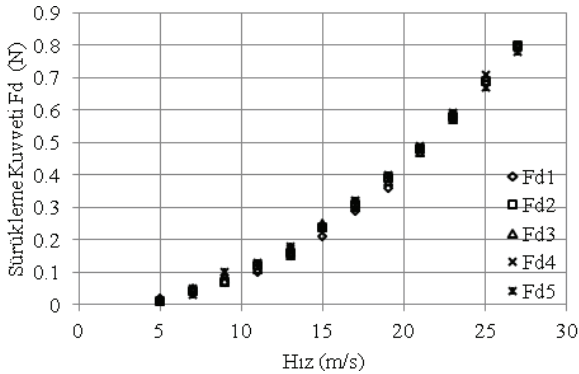
Romeo modelinden daha büyük olmasından dolayı sürüklenme kuvveti daha büyük çıkmıştır.



Şekil 3. Alfa Romeo 156 için sürüklenme kuvvetlerinin rüzgar hızına bağlı değişimi (Drag force change by flow velocity to Alfa Romeo 156)

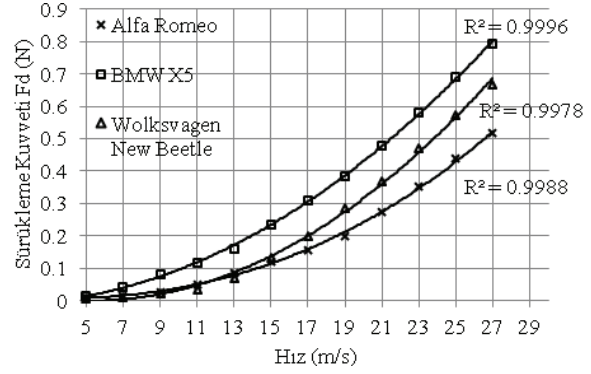


Şekil 4. Volkswagen New Beetle için sürüklenme kuvvetinin rüzgar hızına bağlı değişimi (Drag force change by flow velocity to Volkswagen New Beetle)

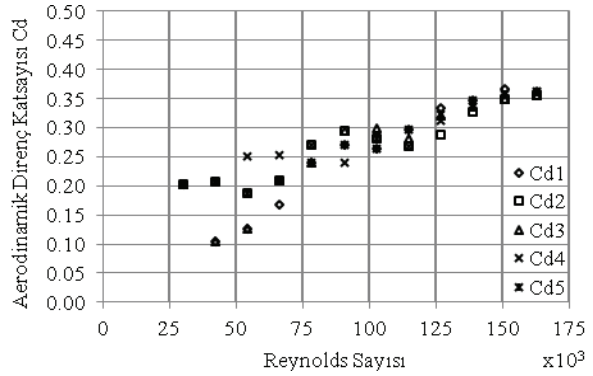


Şekil 5. BMW X5 E53 için sürüklenme kuvvetinin rüzgar hızına bağlı değişimi (Drag force change by flow velocity to BMW X5 E53)

Şekil 7'de Alfa Romeo 156 aracının aerodinamik direnç katsayısının Reynolds sayısına bağlı değişimi görülmektedir. Beş seri ölçüm sonucunda düşük Reynolds sayılarında elde edilen veriler oldukça kararsızdır. Reynolds sayısının artması ile birlikte aerodinamik direnç katsayısı değerleri daha kararlı hale gelmeye başlamış ve Reynolds sayısı 150000 değerini geçtikten sonra sabitleme eğilimine girdiği görülmektedir.



Şekil 6. Ortalama sürüklenme kuvvetlerinin rüzgar hızına bağlı değişimi (Average drag forces change by flow velocity)

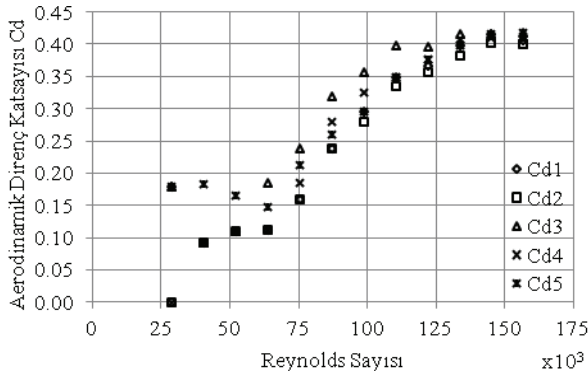


Şekil 7. Alfa Romeo 156 için aerodinamik direnç katsayısının Reynolds sayısına bağlı değişimi (Drag coefficient change by Reynolds number to Alfa Romeo 156)

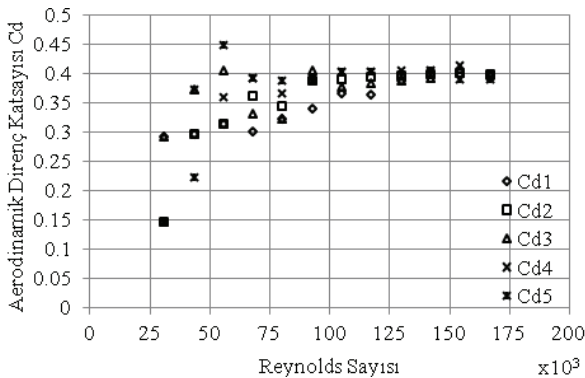
Şekil 8'de Volkswagen New Beetle otomobilinin aerodinamik direnç katsayılarının Reynolds sayısına bağlı değişimi görülmektedir. Reynolds sayısının artması ile birlikte viskozitenin etkileri daha fazla olacak ve yüzey sürtünmeleri artacaktır. Sürtünmenin artmasına bağlı olarak akış hızının azalması statik basıncın artmasına ve ters basınç gradyeninin oluşmasına neden olacaktır. Bunun sonucunda akış hızının daha yüksek ve basıncın daha düşük olduğu üst tabakalara doğru yönlenecektir. Bu durum akışın yüzeyden ayrılmasını tetikleyecektir. Şekil 8'de görüldüğü gibi aerodinamik direnç katsayısı, Reynolds sayısı ancak 145000 değerinden sonra sabitleme eğilimine girmiştir. Ancak buradan daha yüksek Reynolds değerlerinde C_d değerinin nasıl bir eğilim göstereceği konusunda net bir bilgiye ulaşılması pek mümkün değildir. New Beetle otomobilinin keskin köşelere sahip olmamasından dolayı akış ayrılması daha çok Reynolds sayısına bağlıdır. Bu nedenle aerodinamik direnç katsayısı Reynolds sayısının bir fonksiyonu olarak değişiklik göstermiştir.

Şekil 9'da BMW X5 E53 otomobilinin aerodinamik direnç katsayısının Reynolds sayısına bağlı değişimi görülmektedir. Reynolds sayısı 50000 civarında aerodinamik direnç katsayısında kararsızlıklar

görülmektedir. Düşük Reynolds değerlerindeki bu kararsızlığın temel nedeni düşük hızlarda akış yapısının çok fazla bozulmaması ve dolayısıyla akış ayrılmasının hemen gerçekleşmemesidir. Yüksek hızlara çıkıldığında ters basınç gradyeninin etkisinin de artmasıyla birlikte akış ayrılma noktası daha ön tarafa doğru yaklaşacaktır. BMW X5 E53 otomobili için diğer modellere göre daha keskin köşelere sahip bir araç modelidir. Aerodinamik direnç katsayısı 100000 değerinden sonra çok fazla değişiklik göstermemiştir. Bu durum akış ayrılmasının Reynolds değerinden daha çok aracın geometrik yapısı ile ilgili olduğunu ve doğal bir akış ayrılması gerçekleştiğini göstermektedir.



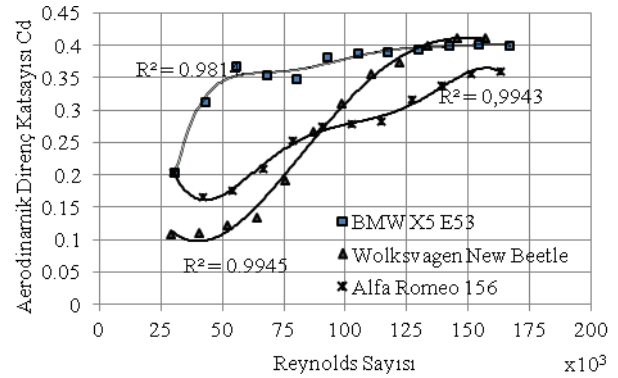
Şekil 8. Wolksvagen New Beetle için aerodinamik direnç katsayısının Reynolds sayısına bağlı değişimi (Drag coefficient change by Reynolds number to Wolksvagen New Beetle)



Şekil 9. BMW X5 E53 otomobili için aerodinamik direnç katsayısının Reynolds sayısına bağlı değişimi (Drag coefficient change by Reynolds number to BMW X5 E53)

Şekil 10'da üç otomobil için ortalama aerodinamik direnç katsayılarının Reynolds sayısına bağlı değişimi görülmektedir. BMW X5 E53 otomobili için aerodinamik direnç katsayısı 100000 değerinde sabitlenmişken Wolksvagen New Beetle için 145000 ve Alfa Romeo 156 otomobili için 150000 değerinde sabitlenme eğilimi göstermiştir. Aerodinamik direncin BMW otomobili için daha düşük Reynolds değerinde sabitlenmesi bir cip olan X5 modelinin keskin köşelere sahip olması ve özellikle arka cam açısının çok büyük olmasından dolayı akış ayrılmasının bu noktada kendiliğinden gerçekleşmesinden

kaynaklanmaktadır. BMW otomobilinde akış ayrılması daha çok ters basınç gradyeni ve yüzey sürtünmesinden değil otomobilin tasarım yapısından kaynaklanmaktadır. BMW X5 E53 otomobilinin aerodinamik direnç katsayısı 0.35 olarak belirtilmiştir. Bu çalışmada BMW X5 E53 otomobilinin aerodinamik direnç katsayısı % 14 hata ile 0.40 olarak bulunmuştur. Alfa Romeo 156 otomobilinin direnç katsayısı ise 0,32 dir. Yapılan ölçümler sonucunda aerodinamik direnç katsayısı % 12,5 hata ile 0,36 olarak bulunmuştur. Wolksvagen New Beetle otomobilinin aerodinamik direnç katsayısı 0,38 olarak verilmektedir. Bu çalışmada New Beetle aracının aerodinamik direnç katsayısı % 7,8 hata ile 0,41 olarak bulunmuştur. Elde edilen aerodinamik direnç katsayılarında ki hatalar ölçüm sisteminin geliştirilmesi ile giderilebilir. Ancak Wolksvagen ve Alfa Romeo için aerodinamik direnç katsayıları daha düşük hata ile bulunmuş olmasına rağmen BMW X5 E53 otomobili Reynolds sayısı bağımsızlığı bakımından daha kararlı bir sonuç vermiştir. Wolksvagen ve Alfa Romeo otomobilleri için elde edilen aerodinamik direnç katsayılarının doğruluğu için daha yüksek Reynolds değerlerine çıkılması dolayısı ile daha hızlı rüzgar tüneli kullanılması gerekmektedir.



Şekil 10. Ortalama aerodinamik direnç katsayılarının Reynolds sayısına bağlı değişimi (Average drag coefficient change by Reynolds number)

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Bu çalışmada üç değişik otomobilin 1/24 ölçeğindeki modelleri ile rüzgar tüneli testi yapılarak Reynolds sayısı bağımsızlığından yararlanılarak aerodinamik direnç katsayıları belirlenmeye çalışılmıştır. BMW X5 E53, Alfa Romeo 156 ve Wolksvagen New Beetle otomobilleri maksimum serbest akış hızı 28 m/s olan bir rüzgar tünelinde test edilmiştir.

Aerodinamik direnç katsayıları BMW X5 E53, Alfa Romeo 156 ve Wolksvagen New Beetle için sırasıyla % 14, % 12,5, % 7,8 hata oranıyla bulunmuştur. Kuvvet ölçüm sisteminde kullanılan yük hücresi ve elektronik akış ölçüm düzeneği geliştirilerek bu hata oranları azaltılabilir.

BMW X5 E53 otomobili için Reynolds sayısı 100000 değerinden sonra aerodinamik direnç katsayısı sabit kalmasına rağmen Volkswagen New Beetle için 145000 ve Alfa Romeo 156 için 150000'den sonra ancak bir sabitleme eğilimi görülmüştür. Ancak elde edilen verilere göre Volkswagen New Beetle ve Alfa Romeo 156 için daha yüksek Reynolds değerlerinde aerodinamik direnç katsayılarının nasıl bir eğilim göstereceği tam olarak belirli değildir ve bu nedenle daha yüksek Reynolds değerlerine çıkılması bunun için de daha yüksek hızlı rüzgar tüneli kullanılması gerekmektedir. BMW X5 E53 için aerodinamik direnç katsayısının Reynolds sayısı 100000 değerinden sonra sabitlendiği ancak diğer modellerde aerodinamik direnç katsayısının Reynolds sayısından bağımsız hale gelemediği görülmüştür. Bu durum aynı rüzgar tüneli ile bütün otomobil modellerinin aerodinamik direnç katsayısının Reynolds sayısı bağımsızlığından yararlanılarak bulunamayacağını göstermektedir. Reynolds sayısı bağımsızlığı aerodinamik direnç katsayısının belirlenmesinde akış ayrılmasının kendiliğinden gerçekleştiği, daha keskin köşelere sahip otomobil modelleri için daha uygun ve geliştirilebilir bir yöntemdir.

SEMBOLLER (Nomenclature)

C_d	: Aerodinamik direnç katsayısı
F_d	: Sürükleme kuvveti
ρ	: Havanın yoğunluğu
V	: Akış hızı
P_g	: Toplam basınç
P_s	: Statik basınç
P_u	: Dış ortam basıncı
ΔP	: Toplam basınç ile statik basınç farkı
Δh	: Eğik manometre yükseklik farkı

ρ_{fl} : Eğik manometre sıvısı yoğunluğu

KAYNAKLAR (References)

1. Milliken, W.F., Milliken, D.L., "Race Car Vehicle Dynamics", **Society of Automotive Engineers International**, Warrendale, 83-110, 1995.
2. Hucho, W.H., "Aerodynamics of Road Vehicles", **Butterworths**, London, 298-410, 1987.
3. Sumantran, V., Sovran, G., "Vehicle Aerodynamics", **Society of Automotive Engineers International**, Warrendale, 483-531, 1996.
4. Wiedemann J., Ewald, B., "Turbulence manipulation to increase effective Reynolds numbers in vehicle aerodynamics", *AIAA J.* 27: 763-69, 1989.
5. Barnard, B.H., "Road Vehicle Aerodynamic Design", **Longman**, London, 1-20, 1996.
6. Aka, H., "Otomobillerin Aerodinamik Karakteristiğinin Bir Rüzgar Tünelinde İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 67-69, 2003.
7. Kavadar, G., "Design and Prototyping of a Mechatronic System as a Drag Reduction Device for Buses", Yüksek Lisans Tezi, **İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü**, İzmir, 80-86, 2006.
8. Çengel, Y.A., Cimbala, J.M., "Akışkanlar Mekaniği" **McGraw Hill**, London, 170-200, 299-300, 2008.
9. White, M.F., "Akışkanlar Mekaniği", **McGraw Hill**, London, 210-220, 2004.
10. Sovran, G., Morel, T., Mason, W.T., "Aerodynamic Drag Mechanisms of Bluff Bodies and Road Vehicles", **Plenum Press**, Newyork, 7-40, 1978.