

Çekici Römork Aracında Spoiler Yapısının Sürüklenme Katsayısına Etkisinin Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği ile Analizi

Cihan BAYINDIRLI *

* Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Niğde, Türkiye

(Geliş/Received : 03.05.2016 Kabul/Accepted : 09.11.2016)

ÖZ

Bu çalışmada bir çekici römork kombinasyonuna etki eden aerodinamik kuvvetler hesaplamalı akışkanlar mekaniği yöntemi ile incelenmiştir. Kuvvet ölçümleri çekici römork için Fluent® programında 4 değişik serbest akış hızında gerçekleştirilmiştir. Sayısal analizler 312 000 - 844 000 Reynolds sayılarında yapılmıştır. Sürtünme ve basınç kaynaklı sürüklenme kuvveti belirlenmiştir. Model araç için sürüklenme kuvvetini iyileştirmek için bir spoiler tasarlanmıştır. Geliştirilen spoiler ile % 20,9 oranında aerodinamik direnç kuvvetinde iyileşme sağlanmıştır. Çekici römork etrafındaki akış yapısı ve basınç katsayısı dağılımları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aerodinamik Direnç Katsayısı (C_D), Sürüklenme Kuvveti, Fluent®, Çekici Römork, Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği.

The Analysis of The Effect of The Spoiler Structures on the Truck Trailer Vehicle to Coefficient Drag by Computational Fluid Mechanics

ABSTRACT

In this study, aerodynamic forces which effect to a truck and trailer combinations were investigated with computational fluid mechanics method. The force measurement were performed for the model truck trailer and aerodynamic drag coefficient (C_D) was determined numerically in 4 different free flow velocity on the Fluent® program. Numerical analysis of flow were made on the 312 000 - 844 000 Reynolds number. The friction and pressure based drag force distributions were determined. A spoiler designed to improve the drag force for the base model. % 20,9 improvement obtained for the aerodynamic drag coefficient. The flow structure around the truck and trailer and pressure coefficient distributions.

Keywords: Aerodynamic Resistance Coefficient (C_D), Drag Force, Fluent®, Towing Trailer, Computational Fluid Mechanics.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Motorlu kara taşıtlarının aerodinamik yapıları aracın performansını, yakıt tüketimini, ivmelenme özelliklerini, yol tutuş özelliklerini, çevre kirliliğini, ses gürültüsünü ve konforunu önemli derecede etkilemektedir. Bunların yanında motorun, dişli kutusu ve frenlerin soğutulmasının, iç mekânın havalandırılmasının aerodinamik yapı ile doğrudan ilişkisi vardır. Bunun için taşıt etrafındaki akışın özellikleri iyi bilinmeli ve buna paralel olarak uygun tasarımlar gerçekleştirilmelidir. Motorlu taşıt üreticileri, taşıt performansını ve motor tarafından üretilen gücü arttırmaya yönelik Ar-Ge çalışmalarına büyük önem verirken diğer taraftan aracın hava içerisinde hareketi sırasında aerodinamik yapısından kaynaklanan kayıpları azaltma yollarını aramışlar ve aramaya da devam etmektedirler. Özellikle otomotiv sektöründe daha geniş yer hedefleyen üreticiler araçları-

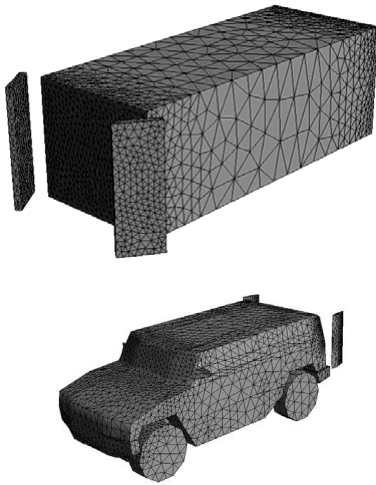
nın ekonomikliğini artırırken, ekonomikliği artırmada en büyük engellerden biri olan aerodinamik direnci azaltmak için bu tür araştırmalara çok büyük yatırım yapmaktadırlar. Adrene olarak adlandırılan hibrit bir aracın aerodinamik yapısını sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışmaları açık devre tipi ve test alanı 30 cm x 30 cm x 100 cm olan rüzgâr tüneline yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda araç üzerindeki C_p (basınç katsayısı) dağılımını ve C_D katsayısı tespit edilmiştir[1]. Yapılan çalışmada pick-up aracının arka kabin geometrisinin aerodinamik yapıya etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Araç üzerindeki akış yapısını PIV yöntemi ile gözlemlenmiş değişik boyutlardaki kabin yapılarının C_D katsayılarına olan etkilerini tespit edilmiştir [2]. 3/10 ölçekli bir çekici ve römork modelinin deneysel sonuçlarını standart k-ε, RNG k-ε, Non-Linear Eddy Viscosity ve Reynolds Stress Transport (RSM) model türbülans modellerinin kullanıldığı STARCD ve FLUENT/UNS paket programları yardımı ile elde edilen verilerle karşılaştırılmış, RNG k-ε ve

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: cbayindirli@ohu.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2017.20.2 251-256

Non-Linear Eddy Viscosity modelleri ile durma noktalarındaki basıncın daha doğru tayin edilebildiği belirlenmiştir. Verilerin doğruluğunu arttırmak için çözüm ağını arttırmak gerektiği ifade edilmiştir [3]. STARCD paket programı ile standart k-ε , non-linear ikinci derece k-ε ve non-linear üçüncü derece k-ε türbülans modellerinde transient simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Direnç kuvveti bütün modeller için hesaplanmış ve deneysel verilerden oldukça önemli miktarda sapmalar olduğu tespit edilmiştir. Transient veya transient olmayan k-ε modellerinin direnci çok yüksek belirlediğini ifade etmişlerdir [4]. Pikap modelin aerodinamik yapısını Fluent® paket programı ile LES ve RNG k-ε türbülans modellerini kullanarak incelemiştir. Taşıta gelen akışın durma noktası olarak ön tamponun hemen üst kısmı olduğunu tespit edilmiştir [5]. Eğimli arka geometriye sahip basitleştirilmiş taşıt üzerinden akışa hareketli bir zeminin etkisini ele almıştır. Yapılan incelemede hareketli zeminin C_D katsayısını % 8 C_L katsayısını %16 azalttığı tespit edilmiştir. Türbülans modeli olarak LES (Large Eddy Simulation) kullanılmıştır [6]. Dört değişik yükseklikte konumlandıkları arka spoilerin bir yarış arabasının C_D ve C_L katsayılarına etkilerini Fluent® paket programında k-ε türbülans modeli ile hesaplanmıştır. Spoilerin konumlandırıldığı yükseklik arttıkça C_D katsayısında iyileşme tespit etmişlerdir [7]. Bir otobüs ve SUV aracının (Sport Utility Car) kılavuz kanatlarının ile aerodinamik direnç katsayısına etkisini ANSYS CFX programında SST k-ε ve k-ε türbülans modelleri ile sayısal olarak hesaplanmıştır. SST k-ε türbülans modelinde deneysel çalışma sonuçlarına göre sapma oranı % 8,04, k-ε türbülans modelinde % 8,74 olarak elde etmişlerdir. Deneysel alanın giriş bölümünde türbülans şiddetini % 0,5 olarak alıp aracın C_D katsayısını 0,593 olarak hesaplanmıştır. Kılavuz kanatları ile SUV aracının C_D katsayısında yaklaşık % 18 iyileşme olabileceğini ifade etmişlerdir [8]. Şekil 1' de sayısal analizi için oluşturulan ağ yapısı verilmiştir.



Şekil 1. SUV aracının sayısal çözümlemesinde ağ dağılımı (Mesh distribution in numerical analysis of SUV vehicle [8])

2. MATERYAL METOD (MATERIALS AND METHOD)

2.1. Genel Denklemler (General Equations)

Sonlu hacimlerin hesaplamalı akışkanlar mekaniği (HAD) ile çözümlenmesinde süreklilik ve momentum denklemleri kullanılır. Uygulamada bu denklemleri analitik olarak çözmek zordur. Bu yüzden bu denklemler paket programlar kullanılarak numerik olarak çözümlenir.

2.1.1. Süreklilik denklemi (Continuity equation)

Süreklilik denklemi, bir akış içerisinde yer alan kontrol hacmindeki kütle dengesi olarak ifade edilir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad 1$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u}) = 0 \quad 2$$

$$\text{div} \vec{u} = 0 \quad 3$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad 4$$

2.1.2. Momentum denklemi (Momentum equation)

Newton'un ikinci kanununa göre bir akışkan parçasının momentumunun değişim hızı bu akışkan parçasına etki eden kuvvetlerin toplamına eşittir. Bir akışkan parçasının birim hacminin x, y ve z yönlerindeki momentum artış hızı sırasıyla $\rho \frac{Du}{Dt}$, $\rho \frac{Dv}{Dt}$ ve $\rho \frac{Dw}{Dt}$ terimleri ile ifade edilir.

Momentum denkleminin x-bileşeni;

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{M_x} \quad 5$$

Momentum denkleminin y-bileşeni;

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{M_y} \quad 6$$

Momentum denkleminin z-bileşeni;

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-p + \tau_{zz})}{\partial z} + S_{M_z} \quad 7$$

2.1.3. Navier – Stokes denklemleri (Navier – Stokes equation)

Navier – Stokes ve süreklilik denklemleri diferansiyel hareket denklemleri olarak da ifade edilir. Bu denklemleri çözümlenmesinde bazı kabuller alınarak basınç ve hızın üç bileşeni (x,y,z) hesaplanır.

Navier – Stokes denklemlerinin sonlu hacimler metodunun geliştirilmesi için en kullanışlı hali,

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad} u) + S_{M_x} \quad 8$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad } v) + S_{My} \quad 9$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad } w) + S_{Mz} \quad 10$$

2.2. Sınır Şartları (Boundary Conditions)

Sayısal çözümlemede tanımlanan sınır şartları ve özellikler Çizelge 2-5’de verilmiştir.

Çizelge 2. Çekici römorkun sayısal çözümlemesinde kullanılan özellikler (Used features in numerical analysis of truck trailer)

Fonksiyon	Özellik
Çözücü	Ayrık (segregated)
Fomülasyon	İmplicit
Zaman	Sabit
Hız formülasyonu	Mutlak
Değişim seçeneği	Düğüm-esaslı
Akışkan	Hava (sıkıştırılmaz)
Basınç – Hız bağlantısı	Simple

Çizelge 3. Çekici römorkun sayısal çözümlemesinde relaksasyon kriterleri (Relaxation criterias in numerical analysis of truck trailer)

Basınç	0.3 Pa
Yoğunluk	1 kg/m ³
Gövde kuvvetleri	1 N
Momentum	0.7 m ² /s
Türbülans kinetik enerji	0.8 m ² /s ²
Spesifik yayılım oranı	0.8
Türbülans viskozite	1 kg/m.s

Çizelge 4. Çekici römorkun sayısal çözümlemesinde havanın özellikleri (Features of air in numerical analysis of truck trailer)

Özellik	Tanım	Sayısal Değer
ρ	Yoğunluk	1 kg/m ³
μ	Dinamik viskozite	1.560×10 ⁻⁵ kg/m.s

Çizelge 5. Çekici römorkun sayısal çözümlemesinde interpolasyon seçenekleri (Interpolation options in numerical analysis of truck trailer)

Özellik	Sayısal Değer
Basınç	İkinci Derece Ayrıklaştırma (Second-Order)
Momentum	İkinci Derece Ayrıklaştırma (Second-Order)
Türbülans kinetik enerjisi	Birinci Derece Ayrıklaştırma (First-Order)
Türbülans yayılım oranı	Birinci Derece Ayrıklaştırma (First-Order)

2.3. Çizim Datalarının Oluşturulması (Obtaining Of Drawing Datas)

2.3.1. Üç boyutlu optik tarama (Three-dimensional optical scanning)

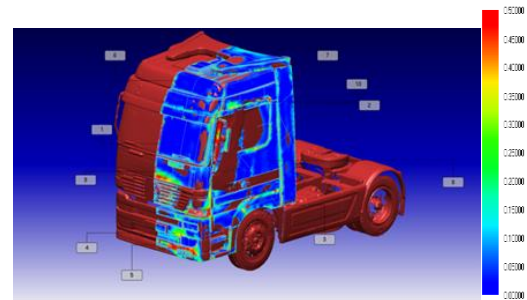
Şekil 5.3’ de çekici ve römork ayrı ayrı 1 adet developer sprej kullanılarak boyanmış, Şekil 5.4’ de üç boyutlu optik tarama cihazı ile optik tarama yöntemiyle 3 boyutlu çizim datası elde edilmiştir. Şekil 2’ de üç boyutlu tarama cihazı, Şekil 3’ de çekicinin çizim datası ve kalite kontrolü, Şekil 4’ de ise römorkun çizim datası ve kalite kontrolü verilmiştir.



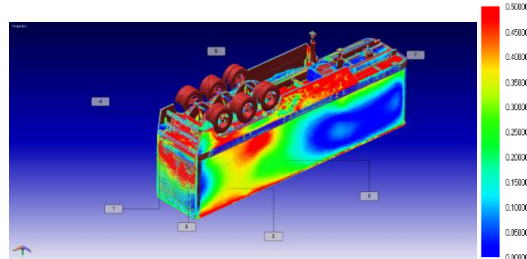
Şekil 2. Üç boyutlu optik tarama cihazı (Three-dimensional optical scanning device)

2.3.2. Modelleme (Modelling)

Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 görüleceği üzere noktasal ağ yapılarından faydalanılarak bilgisayar destekli tasarım yazılımı (Catia V5) ile elde edilen ölçüm datası üzerinden parametrik modelleme yöntemi ile 3 boyutlu çizim dataları elde edilmiştir. Elde edilen çizim dataları incelendiğinde geometrik benzerlik büyük oranda sağlanmıştır. Ancak prototip araca göre yüzey pürüzlülüğüne bağlı oluşabilecek hatalar ihmal edilmiştir.



Şekil 3. Çekicinin çizim datası ve kalite kontrolü (Drawing data and quality control of the truck)



Şekil 4. Römorkun çizim datası ve kalite kontrolü (Drawing data and quality control of the trailer)

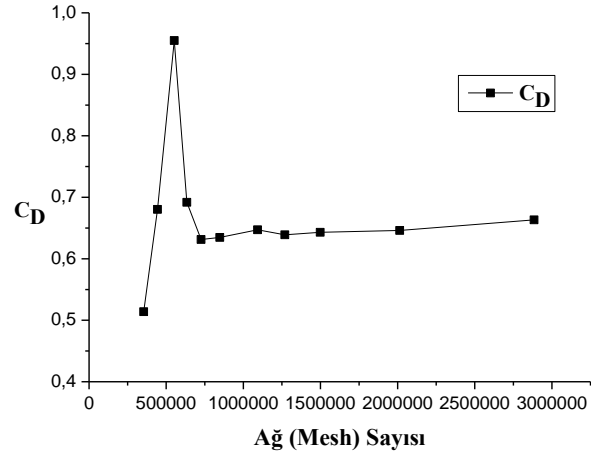
3. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR MEKANİĞİ (HAD) İLE ÇÖZÜM (CFD ANALYSIS)

Sayısal çözümler Fluent® programında, Intel® Core™ i5 3570 CPU 3.40 GHz işlemci ve 8 GB ram özelliklerine sahip bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Çözümler 10m/s, 15m/s, 20m/s ve 27 m/s hızlarında yapılmıştır.

Sonlu hacimler ile ilgili yapılan sayısal çalışmalarda düzgün ve kaliteli bir ağ oluşturmak sonuçların doğruluğu açısından çok önemlidir. Bu yüzden sayısal çalışmalarda ağ kalitesi aranmaktadır. Ancak geometrinin karmaşıklığı arttıkça bu ağ kalitesini elde etmek zorlaşmaktadır. Çekici römork kombinasyonunun çizim datasında birçok ayrıntılı, küçük ve kavis açısı bulunan parçalar bulunmaktadır. Bu durum da istenilen düzeyde ağ kalitesi elde edilememiştir. Daha iyi ağ kalitesini elde etmek için çizim datasını daha da basitleştirmek, kavis açısı olan parçaların yerine daha düz parçalar çizmek ya da küçük parçaları kapatmak gerekmektedir. Bu durumda da çizim datası geometrik benzerlikten uzaklaşacak sonuçlar deneysel sonuçlardan ve gerçek değerlerden uzaklaşacaktır. Bu çalışmada ağ kalitesi (element quality) ortalama 0,81 olmuştur. Bu değer 0,5 den yüksek olması önerilmemektedir. Sayısal çalışmaların doğrulanmasında başvurulan yöntemlerden birisi de ağdan bağımsızlık testleridir. Sayısal çözümlemede ağ sayısı artmasına rağmen sonuç belli bir değerden sonra değişmiyorsa, çözümlemede ağdan bağımsızlık elde edilmektedir. Bu çalışmada 11 değişik ağ sayısında üçgenel hacim (tetrahedrons) ağ yapısı için ağdan bağımsızlık testleri yapılmıştır. Çekici aracının ağ yapılandırılmalarında üçgenel ağların minimum ve maksimum boyutları değiştirilerek değişik çarpıklık oranında ve değişik sayıda ağ yapısı oluşturulmuş ve aynı türbülans modellerinde çözümleme yapılmıştır.

Çizelge 6. 27 m/s hızda yapılan ağdan bağımsızlık testi sonuçları (Independent test results from the mesh at 27 m / s)

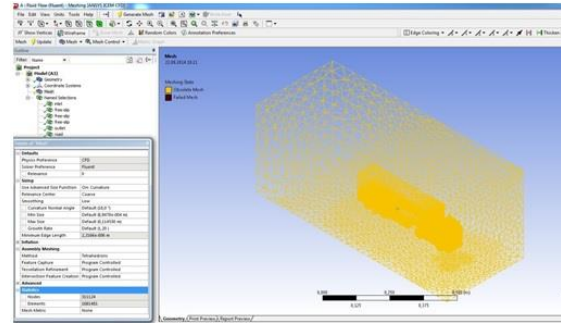
Reynolds Sayısı	Ağ sayısı	Kuvvet (N)	C_D
317 077	354 306	2,03	0,51
317 077	443 632	2,687	0,68
317 077	552 212	3,772	0,95
317 077	633 671	2,733	0,69
317 077	725 898	2,494	0,63
317 077	847 328	2,507	0,63
317 077	1 092 454	2,556	0,65
317 077	1 269 195	2,524	0,64
317 077	1 497 968	2,54	0,64
317 077	2 013 573	2,552	0,65
317 077	3 032 090	2,446	0,62



Şekil 5. Ağ bağımsızlığı grafiği (Mesh independent graph)

3.1. Çekici ve Römorkun Sayısal Çözümleri (Numerical Analysis Of Truck)

Bu çalışmada kullanılan model araç (base model) Bayındırlı ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır [9]. Çalışmanın ikinci kısmında geliştirilen spoiler ile bu model aracın aerodinamik bakımdan iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan sayısal çözümleme sonucunda çekici römork kombinasyonuna etki eden kuvvet değerleri hesaplanarak akış yapısı ile ilgili görümler ve grafikler elde edilmiştir.

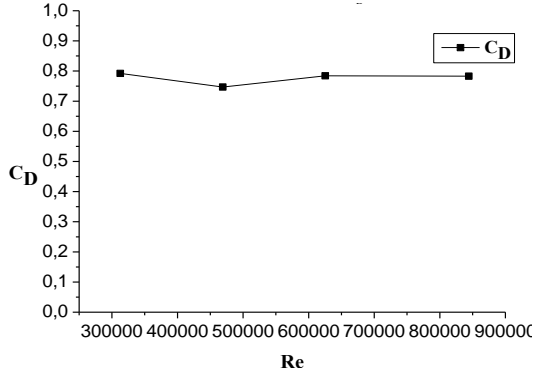


Şekil 6. Çekici römorkun "ağ oluşturma" ara yüzündeki görünümü (The interface view of truck and trailer in meshing section)

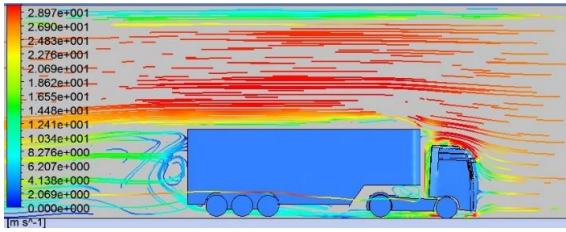
Çizelge 7. Model araca etki eden kuvvet değerleri ve C_D katsayıları (Affecting force values to the model vehicle and C_D coefficients)

Re	Kuvvet (N)	C_D
312000	0,5240	0,792
469000	1,1110	0,747
625000	2,0750	0,784
844000	3,7750	0,783

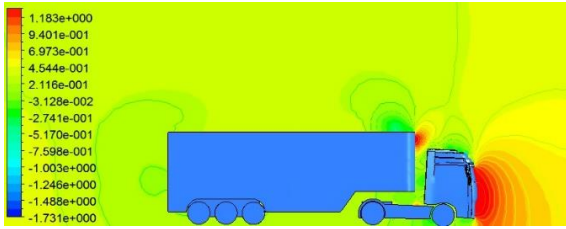
Çizelge 7'de görüleceği üzere 10 m/s, 15 m/s, 20m/s ve 27 m/s hızlarında yapılan sayısal çözümleme sonuçlarına göre çekici römork kombinasyonunun C_D katsayısı ortalama 0,776 olarak tespit edilmiştir. Toplam aerodinamik direnç katsayısının ortalama % 94,2'si basınç kaynaklı % 5,8'i sürtünme kaynaklı olarak tespit edilmiştir.



Şekil 7. Reynolds sayısına göre çekici römorkun sayısal C_D katsayısı grafiği (According to Reynold number aerodynamic drag coefficient (C_D) of truck and trailer)



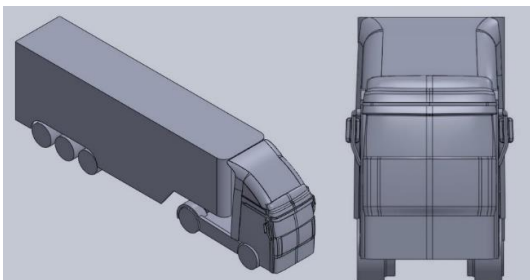
Şekil 8. 27 m/s ($Re=844\ 000$) hızdaki çekici ve römorka etki eden rüzgâr hızının streamline olarak gösterilişi (The streamline image of the affecting wind speed to truck trailer at $Re=844\ 000$)



Şekil 9. 27 m/s ($Re=844\ 000$) hızda çekici ve römork üzerindeki basınç katsayısı (C_p) dağılımı The pressure coefficient (C_p) distribution on the truck and trailer at $Re=844\ 000$)

3.2. Spoiler Tasarımı İle Aerodinamik İyileştirme (Aerodynamic Improvement With Spoiler Design)

Bu çalışmada model aracın spoiler yapısı iyileştirilerek geliştirilen yeni spoiler modelinin sürüklenme katsayısına etkisi tespit edilmiştir. Elde edilen çizim datasının kalıp boşluğu oluşturularak aynı deney şartlarında 10 m/s, 15 m/s, 20 m/s ve 27 m/s hızlarında sayısal analizi yapılmıştır. Elde edilen görseller ile iyileştirilmiş akış yapısı gözlemlenmiştir.

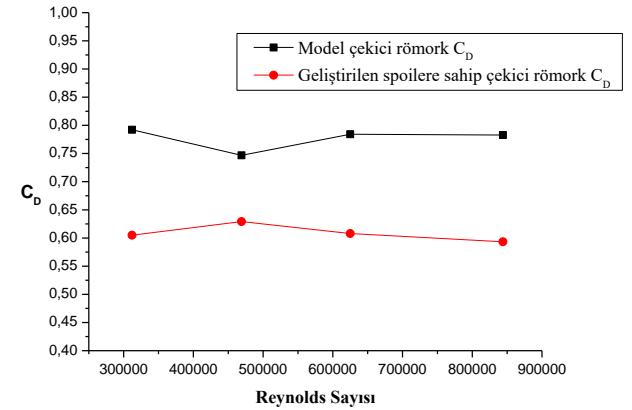


Şekil 10. Geliştirilen yeni spoilere sahip çekici römorkün çizim datası (Drawing datas of truck trailer with developed new spoiler)

Çizelge 8. Geliştirilen spoilere sahip model araca etki eden kuvvet değerleri ve C_D katsayıları (Affecting force values to the model vehicle which has got developed new spoiler and C_D coefficients)

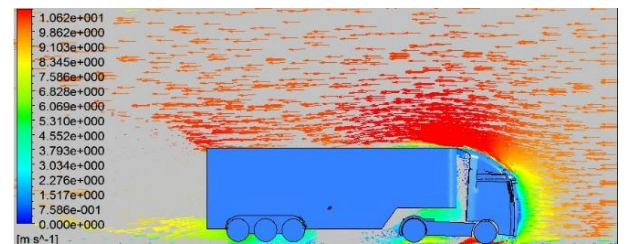
Re	Kuvvet (N)	C_D
312000	0,400	0,605
469000	0,936	0,629
625000	1,608	0,608
844000	2,860	0,593

Çizelge 8’de geliştirilen yeni spoilere sahip model aracın 10 m/s, 15 m/s, 20 m/s ve 27 m/s hızlarında sayısal analizi yapılmış ve çözümlene sunucunda araca etki eden direnç kuvveti tespit edilmiştir. Yapılan sayısal analizler sonucunda çekici römorkün C_D katsayısı ortalamaya 0,609 olarak elde edilmiştir. Model araca göre % 20,9’luk aerodinamik iyileşme sağlanmıştır.



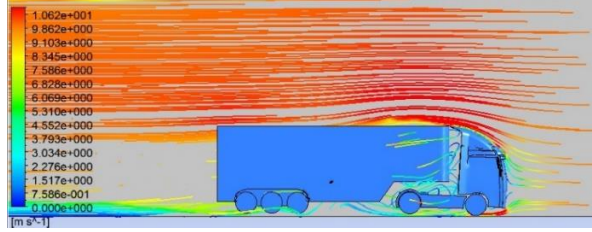
Şekil 11. Reynolds sayısına göre C_D katsayısı karşılaştırma grafiği (The C_D comparison graph according to Reynolds number)

Yapılan sayısal çalışmalar sonucunda römorkün çekiciden yüksek olan üst kısmında basınç katsayısı (C_p) durma basıncına yakın elde edilmiştir. Model 1 aracında geliştirilen spoiler ile bu bölgede aerodinamik iyileşme sağlanmıştır. Şekil 12’de spoilerin hücum açısına bağlı olarak hava akışı römorkün üst kısmına aktarılmış ve bu bölgede oluşan basınç kaynaklı direnç kuvveti azaltılmıştır.



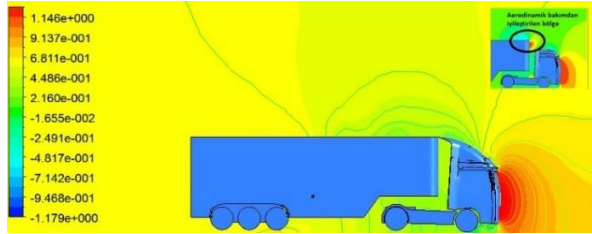
Şekil 12. 10 m/s ($Re=312\ 000$) hızdaki model 1 aracına etki eden rüzgâr hızının vektörel olarak gösterilişi (The vector image of the wind speed on the model 1 vehicle at $Re=312\ 000$)

Şekil 13'de akışın streamline olarak görüntülenmesinde geliştirilen spoiler ile römork üzerine aktarılan hava akışı görülmektedir. Spoilerin üst kısmından uzunluğu boyunca geçen hava burada sürtünmeye bağlı bir direnç oluşturmaktadır. Sürtünmeye bağlı direnç basınca bağlı dirence göre çok düşük etki yaptığında geliştirilen yeni spoilerlere sahip model aracında sayısal olarak % 20,9 oranında aerodinamik iyileşme elde edilmiştir.



Şekil 13. 10 m/s ($Re=312\ 000$) hızdaki model 1 aracına etki eden rüzgâr hızının streamline olarak gösterilişi The streamline image of the wind speed on the model 1 vehicle at $Re=312\ 000$

Şekil 14'de model 1 aracı üzerindeki basınç katsayısı dağılımı verilmiştir. Römorkun çekiciden yüksek olan bu bölge ve akışa dik durumda olup durma basıncına yakın basınç katsayısı oluşmaktadır. Geliştirilen spoiler ile bu bölgedeki basınca bağlı oluşan aerodinamik direnç kuvveti azaltılarak C_D katsayısı düşürülmüştür.



Şekil 14. 10 m/s ($Re=312\ 000$) hızda model 1 aracı üzerindeki basınç katsayısı (C_p) dağılımı (The pressure coefficient (C_p) distribution on the model 1 vehicle at $Re=312\ 000$)

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

Bu çalışmada bir çekici römork modelinin sürüklenme kuvvetini azaltmak amacı ile bir spoiler tasarımı yapılmıştır. Yeni spoilerin araç etrafındaki akış yapısına olan etkisi 312000 - 844000 Reynolds sayısı aralığında numerik olarak incelenmiştir. Çekici römork etrafındaki akış hızı streamline ve vektör olarak belirlenmiştir. Ayrıca çekici römork üzerindeki basınç katsayısı dağılımları tespit edilerek geliştirilen spoiler ile C_D katsayısında % 20,9 iyileşme sağlanmıştır. Bu orandaki bir aerodinamik iyileşme yüksek hızlarda çekici römorklarda yakıt tüketimini yaklaşık % 10 azaltabilmektedir. Römorkun çekiciden yüksek ön yüzey alanında basınç kaynaklı sürüklenme kuvveti, geliştirilen spoiler yapısı iyileştirilmiştir. Römorkun ön üst yüzey alanında durma basıncına yakın elde edilen bu basınç kaynaklı drag kuvveti, akışın römorkun üstüne aktarılması ile azaltılmıştır. Ayrıca akış yapısındaki bu iyileşme ses gürültüsü ve konforu da olumlu yönde etkilemektedir. Bu durum özellikle spoiler tasarımının önemini ortaya koy-

muş uygun spoiler tasarımı ile elde edilebilecek iyileşme potansiyelini göstermiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışmamda emeği geçen doktora tezi danışman hocalarım Prof. Dr. M. Sahir SALMAN ve Doç. Dr. Yahya Erkan AKANSU hocalarıma, tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Selim ÇETİNKAYA ve Prof. Dr. Adnan SÖZEN hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Desai M., Channiwala S. A., Nagarsheth, H. J. Experimental and Computational Aerodynamic Investigations of a Car. *WSEAS Transactions on Fluid Mechanics* 4(3): 359-366, (2008).
- Ha, J., Shigeru, O., and Yasuaki, K. Drag Characteristics Of A Pickup Truck According to Bed Geometry. Paper presented at *7th IASME/WSEAS International Conference on Fluid Mechanics and Aerodynamics*, Moscow, Russia, (2009).
- Perzon, S., Janson, J., and Höglin, L. On comparisons between CFD methods and wind tunnel tests on a bluff bod. *SAE Technical Paper Series*, 01-0805, 1-11, (1999).
- Perzon, S., and Davidson, L. On transient modeling of the flow around vehicles using the Reynolds equation. *International Conference on Applied Computational Fluid Dynamics (ACFD) Beijing China*, 720-727, (2000).
- Lokhande, B., Sovani, S., and Khalighi, B. Transient simulation of the flow field around a generic pickup truck. *SAE Technical Paper Series*, 01-1313, 1- 19, (2003).
- Krajnovic, S., and Davidson, L. Influence of floor motions in wind tunnels on the aerodynamics of road vehicles. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93: 677-696, (2005).
- Apisakkul, K.T., and Kittichaikarn, C. Numerical analysis of flow over car spoiler. Paper presented *The Ninth Annual National Symposium on Computational Science and Engineering Papers ANSCSE-9*, Bangkok, Thailand, (2005).
- Wahba, C. E.M., Al-Marzooqi, H., Shaath, M., Shahin, M., and El-Dhmarshawy. T. Aerodynamic Drag Reduction for Ground Vehicles Using Lateral Guide Vanes. *CFD Letters*, 4(2): 68-78, (2012).
- Bayındırlı, C., Akansu, Y.E., Salman, M.S., and Çolak, D. The Numerical Investigation of Aerodynamic Structures of Truck and Trailer Combinations. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 4 (3): 139-145, (2015).